SIMULASI PERFORMA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO₂

SKRIPSI



JURUSAN FISIKA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG 2016

SIMULASI PERFORMA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO₂

SKRIPSI

Diajukan kepada:

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

> Oleh: <u>ABDUL BAQI</u> NIM. 12640050

JURUSAN FISIKA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG 2016

HALAMAN PERSETUJUAN

SIMULASI PERFORMA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO₂

SKRIPSI

Oleh: <u>ABDUL BAQI</u> NIM. 12640050

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji, Pada tanggal: 14 Juni 2016

Pembimbing I

Erika Rani, M.Si NIP. 19810613 200604 2 002 Pembimbing II

Dr. Agus Mulyono, S.Pd. M.Kes NIP. 19750808 199903 1 003

Mengetahui, Ketua Jurusan
Erna Hartuti, M.Si NIP-19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

SIMULASI PERFORMA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO2

SKRIPSI

Oleh: ABDUL BAQI NIM.12640050

Penguji Utama	: Imam Tazi, M.Si NIP. 19740730 200312 1 002	A AME-
Ketua Penguji	Drs. Abdul Basid, M.Si NIP. 19650504 199003 1 003	A
Sekretaris Penguji	: Erika Rani, M.Si NIP. 19810613 200604 2 002	And
Anggota Penguji	Dr. Agus Mulyono, S.Pd. M.Kes NIP. 19750808 199903 1 003	10th



PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	1	Abdul Baqi
NIM	1	12640050
Jurusan	1	Fisika SISI
Fakultas		Sains Dan Teknologi
Judul Penelitian	X	Simulasi Performa Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Berbahan ZnO-SiO2

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benarbanar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang,

2016

Yang Membuat Pernyataan,

Abdul Baqi NIM. 12640050

MOTTO

Tingkatkan intensitas belajar Dengan melihat kelebihan Dan kekurangan yang dimiliki

"Our FUTURE is created by what We do { TODAY } Not { TOMORROW"

"Bertindak dalam semangat yang tinggi, dengan atas semua kelemahan diri, mengubah orang biasa menjadi pemenang (Mario Teguh)

You don't have to be great to start, But you have to start to be great

HALAMAN PERSEMBAHAN

Yang Utama dari Segalanya...

Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan dan membekaliku dengan ilmu. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

Aba BUKHORI NA'IM dan (almh) ibunda HALIMA tercinta

Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terimakasih tak terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada aba yang telah memberikan kasih sayang dan segala dukungan yang tak terhingga dan tak mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas bertuliskan kata cinta dan persembahan.

My Sister and My brother

kakak dan adik-adikku, terutama mbak **Rifatul**, hanya karya kecil ini yang dapat kupersembahkan. Maaf belum bisa menjadi panutan seutuhnya, tapi ku kan menjadi yang terbaik untukmu semua.

Physics Department

Sahabat-sahabatku "Vera, Ali, Muka, Naufal, Wulan, Indri, Anis, Ifa, Zara dan Ja'far" yang telah berjuang bersama. Kupersembahkan karya ini untuk kalian yang telah memberi semangat, candaan, dan bantuan kalian. Kalian adalah penyempurna kekuranganku dan bagian dari kelebihanku. Teman-teman Fisika 2012, yang tanpa terasa selama 4 tahun bersama.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Syukur alhamdulillah penulis haturkan kehadirat Allah Swt yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Simulasi Performa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berbahan Semikonduktor ZnO-SiO₂" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terimakasih seiring doa dan harapan *jazakumullah ahsanaljaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

- 1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- 2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- 3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan inspirasinya sehingga dapat melancarkan proses penulisan skripsi.
- 4. Erika Rani, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, bimbingan, dan bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
- 5. Dr. Agus Mulyono, S.Pd. M.Kes. selaku dosen pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan di bidang integrasi Sains dan al-Quran serta Hadits.
- 6. Segenap dosen, laboran dan admin Jurusan Fisika, dosen agama Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
- 7. Orang tua, Abah Bukhori Na'im, mbak Rifatul Hasanah, dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan moral dan material, restu, serta selalu mendoakan di setiap langkah penulis.

8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Aamiin Yaa Rabbal Alamin. Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*



DAFTAR ISI

COVER	.i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
МОТТО	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	kiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	cvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tuiuan	7
1.4 Manfaat	7
1.5 Batasan Masalah.	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Energi Matahari	9
2.2 Sel Surva	11
2.3 Dve Sensitized Solar Cell (DSSC)	14
2.3.1 Pengertian Umum	14
2.3.2 Cara Keria DSSC	16
2.3.3 Material DSSC	18
2.4 Semikonduktor	18
2.4.1 Karakteristik ZnO-SiO ₂	22
2.5 Performa Sel Surva	26
2.6 Kurva I-V	28
2.6.1 Arus Short Circuit	28
2.6.2 Tegangan <i>Open Circuit</i>	29
2.6.3 Efek Temperatur	29
2.6.4 Efek Intensitas Matahari	30
2.7 Persamaan Karakteristik Sel Surva	30
2.7.1 Model Sel Surva Ideal	31
2.8 Keuntungan DSSC	33
2.9 MATLAB	34
2.10 Validasi Komputasi Pemodelan DSSC	34
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2 Pemodelan	37
3.4 Pembuatan Simulasi	40
3.5 Tahap Pengujian	41
3.6 Analisis Hasil	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi Performa DSSC	43
4.1.1 Simulasi Karakteristik Sel Surya DSSC dengan Dye Buah Mangsi	44
4.1.2 Simulasi Karakteristik Sel Surya DSSC dengan Dye Daun Jati	54
4.1.3 Perbandingan Hasil Simulasi Bahan Buah Mangsi dan Jati sebagai	
<i>Dye</i>	64
4.2 GUI MATLAB	65
4.3 Konversi Energi Matahari dalam Perspektif Seorang Muslim	66
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur dasar sel surya	. 13
Gambar 2.2	Struktur Dye-Sensitized Solar Cell	. 15
Gambar 2.3	Skema kerja DSSC	. 17
Gambar 2.4	Perbandingan celah energi pada konduktor, semikonduktor	
	dan isolator	. 19
Gambar 2.5	Material dilihat dari struktur pita energi. a) konduktor,	
	b) isolator, dan c) Semikonduktor	20
Gambar 2.6	Ilustrasi Kondisi Elektron pada Temperatur Rendah dan	
	Temperatur Tinggi	21
Gambar 2.7	Struktur kristal ZnO (a) rockzalt, (b) zinc blende, dan	
	(c) wurtzite	23
Gambar 2.8	Struktur silika tetrahedral	26
Gambar 2.9	Karakteristik I-V sel surva	27
Gambar 2.10	Rangkajan setara sel surva ideal	
Gambar 2.11	Plot I-V sel surva ideal dengan 2 radiasi yang berbeda (25 °C).	
Gambar 2.12	Karakteristik I-V. Tanda titik adalah data hasil eksperimen.	
	garis adalah data perhitungan	. 35
Gambar 2.13	Karakteristik P-V. Tanda titik adalah data hasil eksperimen.	
	garis adalah data perhitungan	
Gambar 3.1	Flowchart program simulasi	37
Gambar 4.1	Karakteristik I-V menggunakan buah mangsi	45
Gambar 4.2	Karakteristik P-V menggunakan buah mangsi	
Gambar 4.3	Karakteristik I-V hasil simulasi performa DSSC dengan	
	perubahan suhu	47
Gambar 4.4	Karakteristik P-V hasil simulasi perubahan temperatur kerja	
	dari sel surva	. 48
Gambar 4.5	Karakteristik I-V pada perubahan intensitas	. 50
Gambar 4.6	Karakteristik P-V pada perubahan intensitas matahari	51
Gambar 4.7	Karakteristik I-V dengan perubahan ketebalan bahan DSSC	52
Gambar 4.8	Grafik karakteristik P-V terhadap perubahan ketebalan bahan	
Guillour 1.0	DSSC	53
Gambar 4 9	Karakteristik I-V menggunakan daun jati	54
Gambar 4 10	Karakteristik P-V menggunakan daun jati	55
Gambar 4 11	Karakteristik I-V hasil simulasi performa DSSC	
Guillour 1111	perubahan temperatur kerja	56
Gambar 4 12	Karakteristik P-V hasil simulasi perubahan temperatur	
Gambar 4.12	keria menggunakan daun jati sehagai <i>dye</i>	57
Gambar 4 13	Karakteristik I-V hasil simulasi perubahan intensitas matahari	58
Gambar 4 14	Karakteristik P-V menggunakan daun jati sebagai <i>dua</i>	
Oumbur 4.14	dengan perubahan intensitas radiasi matahari	59
Gambar 4 15	Grafik karakteristik LV hasil simulasi perubahan ketebalan	
Samual 4.13	hahan DSSC	60
Gambar 4 16	Kurva karakteristik P-V hasil simulasi performa sel	00
Sambai 4.10	surva herdasarkan nerubahan ketebalan	67
Gambar / 17	Tampilan program GUI MATI AR	02 66
Januar 4.17		00

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisis Dasar ZnO dalam Ukuran Besar (bulk)	23
Tabel 2.2 Karakteristik Silika Amorf	25
Tabel 2.3 Perbandingan parameter internal <i>published values</i> dan nilai	
perhitungan	35
Tabel 4.1 Hasil simulasi performa menentukan daya maksimum	45
Tabel 4.2 Data hasil simulasi performa dengan variasi temperatur	
kerja menggunakan buah mangsi sebagai dye	49
Tabel 4.3 Data hasil simulasi performa DSSC berdasarkan perubahan	
intensitas	51
Tabel 4.4 Data hasil simulasi performa karakteristik P-V berdasarkan	
perubahan ketebalan bahan DSSC	54
Tabel 4.5 Data hasil simulasi menentukan daya keluaran menggunakan	
daun jati sebagai dye	56
Tabel 4.6 Data hasil simulasi karakteristik P-V dengan variasi temperatur	
kerja	58
Tabel 4.7 Data hasil simulasi berdasarkan karakteristik P-V pada	
perubahan intensitas.	61
Tabel 4.8 Data hasil simulasi karakteristik P-V berdasarkan perubahan	
ketebalan bahan DSSC menggunakan daun jati sebagai dye	63

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 List Program Simulasi performa sel surya menggunakan buah mangsi
- Lampiran 2 List Program Simulasi performa sel surya menggunakan daun jati
- Lampiran 3 List Program Simulasi membuat GUI MATLAB
- Lampiran 4 Data hasil pengujian UV-VIS
- Lampiran 5 Data Hasil Uji Listrik DSSC
- Lampiran 6 Kartu Bukti Konsultasi



ABSTRAK

Baqi, Abdul 2016. Simulasi Performa Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbahan ZnO-SiO₂. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing: (I) Erika Rani, M.Si. (II) Dr. Agus Mulyono, S.Pd. M.Kes.

Kata Kunci: Simulasi DSSC, Semikonduktor ZnO-SiO₂, V_{oc}

Pemodelan dan simulasi karakteristik sel surya *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbahan semikonduktor ZnO-SiO₂ menggunakan MATLAB Simulink dengan *software* GUI berjalan secara optimal dan berhasil dilakukan dengan memodifikasi parameter-parameter internal (Φ, τ, α, m, T), eksternal dan data hasil penelitian DSSC. Simulasi yang dilakukan meliputi simulasi menentukan daya keluaran, perubahan temperatur kerja, perubahan intensitas radiasi matahari, dan perubahan ketebalan dengan menampilkan kurva karakteristik I-V dan P-V. Bahan elektrolit yang digunakan sebagai *dye* adalah buah mangsi dengan koefisien absorpsi 2,18 x 10² dan daun jati dengan koefisien absorpsi 1,89 x 10². Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa perubahan temperatur berpengaruh terhadap tegangan (V_{oc}) dan daya maksimal. Sedangkan perubahan ketebalan ketebalan berpengaruh terhadap nilai arus keluaran. Simulasi dengan perubahan ketebalan berpengaruh terhadap nilai arus dan daya maksimal.



ABSTRACT

Baqi, Abdul 2016. Simulation Performance of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) with ZnO-SiO₂ Material. Essay. Physic Department, Science and Technology Faculty, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim, Malang. Advisor: (I) Erika Rani, M.Si. (II) Dr. Agus Mulyono, S.Pd. M.Kes.

Key Words: DSSC Simulation, ZnO-SiO₂ Semiconductor, V_{oc}

Modeling and simulation of the *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) characteristic with ZnO-SiO₂ semiconductor material using GUI MATLAB Simulink were optimally and successfully worked by modifying internal parameters (Φ , τ , α , m, T), external parameters and DSSC research result data. The simulations were conducted for determining output power, based on the change of temperature, solar radiation intensity, and thickness by representing characteristic I-V and P-V curve. Electrolyte material used as dye was mangsi fruit which has absorption coefficient 2,18 x10² and teak leaf with absorption coefficient 1,89 x 10². Simulation result pointed out that there were temperature changing on electrical voltage (V_{oc}) and maximal power. Whereas the intensity changing influence output current value. The thickness changing simulation influence electrical current value and maximal power.



الباقي، عبد 2016، محاكة شكل (DSSC) بحاكة محلة Dye Sensitized Solar Cell بجامعة مولنا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية SiO₂ . البحث العلمي. قسم علم الفيزياء، كلية العلم واالتكنوليجيا بجامعة مولنا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية ملانج. المشرف: (1) إيريكا راني الماجستير (2) الدكتور أغوس موليونو الماجستير. كلمة الرئيسية: الحاكة، DSSC، 2nO-SiO₂ (DSSC)

الملخص

التشكيل ومحاكة خصيصة خلية الشمس (MATLAB ب MATLAB جرت أحسن semikonduktor ZnO-SiO₂ تستخدم MATLAB ب MATLAB جرت أحسن الإجراء ونجحت بتحوير المعالم الداخلية (Φ, τ, α, m, T) والخارجية و وثيقة حاصل التجربة DSSC. المحاكة المستعلة تشتمل على المحاكة التي تحدد قوة الإنتاج و تغيير درجة حرارة الإشتغال وتغيير شدة إشعاع الشمس وتغيير الكثافة بإظهار إنحناء خصيصة V و I-V و V-V . أما مادة الإلكتروتية المستعمل ك*ayb* هي ثمرة منجسي بمعامل الإمتصاص 2.18 X 2018 وورقة جاتي بمعامل الإمتصاص 18.28 X 2010 فهذه المحاكة تدل على أن تغيير الحرارة تأثر في الجهد والقوة الأقصى. وتغيير الشدة يأثر في قدر تيار الإنتاج. والمحاكة بتغيير الكثافة تأثر في قدر التيار والقوة الأقصى.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik adalah energi yang sangat penting dalam kehidupan manusia, mulai dari kebutuhan mendasar sampai komersial. Sebagian besar kebutuhan energi ini dipenuhi oleh sumber energi dari alam, yaitu sumber energi dari bahan fosil. Kebutuhan energi semakin lama semakin meningkat seiring meningkatnya populasi penduduk. Pada tahun 2006 populasi penduduk mencapai 6,5 miliyar dan diperkirakan pada tahun 2050 populasinya menjadi 9 miliyar (Sudaryono, 2015). Hal ini kemudian menjadi tantangan untuk pengembangan energi ditambah ketersediaan sumber energi dari bahan fosil semakin terbatas sehingga tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik tersebut.

Salah satu upaya mengatasi krisis energi listrik adalah dengan mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui dan jumlahnya sangat terbatas. Upaya untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan mengembangkan energi terbarukan. Semua energi terbarukan merupakan energi berkelanjutan, karena senantiasa tersedia di alam dalam waktu relatif sangat panjang sehingga tidak perlu khawatir akan kehabisan energinya. Sumber energi terbarukan merupakan energi terbarukan merupakan energi yang tidak akan habis, bersih, dan digunakan secara tersebar. Selain itu, energi terbarukan juga memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat diambil dari alam dengan maksimal dan dapat diperbaharui, serta dapat diintegrasikan dengan jenis-jenis sumber energi terbarukan lainnya (Kalmin, 2012).

Ada beberapa data energi fosil dan energi terbarukan yang tersedia dan yang sudah digunakan di Indonesia. Untuk energi terbarukan, cadangan tenaga surya yang ada di Indonesia pada tahun 2005 adalah 4,80 kWh/m²/hari. Sedangkan kapasitas tenaga surya yang terpasang hanya 0,008 kWh/m²/hari (Sudaryono, 2015). Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa perkembangan sumber energi terbarukan (tenaga matahari) masih sangat terbatas, sehingga sangat perlu untuk mengembangkan sumber energi terbarukan, yaitu menggunakan energi dari alam yang secara maksimal dapat kita implementasikan.

Saat ini, penelitian mengenai sumber energi terbarukan sangat gencar dilakukan. Beberapa penelitian mengenai sumber energi terbarukan, seperti sumber energi tenaga angin, tenaga air, dan energi matahari telah dilakukan. Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial, terutama di Indonesia adalah sumber energi matahari. Hal ini dikarenakan Indonesia berada di garis khatulistiwa. Matahari yang bersinar berkisar 2000 jam per tahun, sehingga Indonesia tergolong kaya akan sumber energi matahari. Data Ditjen Listrik dan Pengembangan Energi pada tahun 1997 menjelaskan bahwa kapasitas terpasang listrik tenaga surya di Indonesia mencapai 0,88 MW dari potensi yang tersedia $1,2 \times 10^9$ W (Widodo, dkk, 2009).

Surat al-Furqan ayat 61 mengandung kata penting yang perlu kita pahami. Dalam Surat tersebut terdapat kata yang mengandung makna matahari. Matahari merupakan makhluk Allah Swt yang dapat menyinari bumi dan langit beserta isinya.

تَبَارَكَ ٱلَّذِي جَعَلَ فِي ٱلسَّمَآءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُّنِيرًا ٢

"Maha Suci Allah yang menjadikan di langit gugusan-gugusan bintang dan Dia menjadikan juga padanya matahari dan bulan yang bercahaya" (Q.S. al-Furqan: 61).

Menurut Ibn Katsir dalam ayat ini Allah Swt hendak menjelaskan keagungan ciptaan-Nya yang berada di angkasa (*fi al-sama*') salah satunya adalah al-buruj. Sedangkan al-buruj sendiri menurut Ibn Katsir, sebagaimana ia nukil dari pendapatnya Mujahid, Said Ibn Jubair, Abu Shalih, Hasan, dan Qatadah, adalah benda-benda angkasa seperti planet, bintang, dan lain-lain. Sedangkan pada kata *siraj* beliau menafsirkannya sebagai matahari yang memancarkan sinar (*al-syams al-munirah*) sebagaimana cahayanya tampak dalam bentuk fisiknya sebagaimana firman-Nya yang lain dalam Q.S. al-Naba': 13 "Dan Kami menjadikan pelita yang terang benderang (matahari)". (Lihat selengkapnya dalam Abu al-Fida' Ismail Ibn Katsir, Tafsir al-Quran *al-'Azhim*, Vol.X, hal. 318)

Ada beberapa cara untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Salah satu cara untuk mengkonversi energi matahari menjadi listrik adalah menggunakan sel surya, salah satunya adalah DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). DSSC adalah sel surya berbasis lapis tipis semikonduktor titania dan merupakan generasi ketiga sistem sel surya yang sangat potensial setelah sel surya berbasis silikon (Gratzel, 1991). Sel surya ini terdiri dari dua kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang berfungsi sebagai elektroda kerja dan elektroda lawan. Elektroda kerja dibuat dari kaca TCO yang dideposisikan pasta suatu semikonduktor tersensitisasi zat warna (*dye*) yang berfungsi sebagai transpor permbawa muatan dan zat warna sebagai penyerap cahaya. Sedangkan elektroda lawan dibuat dari kaca TCO yang dilapisi karbon. Kedua elektroda tersebut dirangkai mengapit elektrolit. Pasangan elektrolit redoks yang biasa digunakan adalah *iodide/triiodide* (I⁻/I₃⁻) (Gratzel, 2003).

Sampai saat ini, bahan yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah silikon. Silikon merupakan bahan yang berpotensi untuk menghasilkan energi matahari menggunakan sel surya yang sangat baik, namun bahan silikon sangat mahal untuk terus-menerus kita gunakan, sehingga perlu dikembangkan bahan selain silikon. Bahan semikonduktor celah lebar yang berkembang dan telah dikaji adalah ZnO sebagai semikonduktor alternatif menggantikan silikon, namun belum dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik. Oleh karena itu, dibutuhkan pencampuran (*doping*) material semikonduktor lain yang memiliki pita celah energi yang besar sehingga dapat meningkatkan efisiensi sel surya organik (Fitriyah, 2014).

ZnO adalah salah satu oksida logam yang banyak diteliti dan diaplikasikan. ZnO memiliki *band gap* hampir sama dengan TiO₂ yaitu 3,37 pada temperatur kamar. Bahan metal oksida lain adalah SiO₂ yang merupakan bahan semikonduktor tipe-p dan bersifat inert, hidrofilik, mempunyai kestabilan thermal dan mekanik tinggi. SiO₂ juga memiliki porositas dan luas permukaan yang lebar sehingga mampu mengabsorpsi *dye* lebih besar daripada TiO₂ yang implikasinya dapat menaikkan jumlah cahaya yang terabsorp. Kemudian ketika bahan ZnO dicampur dengan bahan SiO₂ sehingga membentuk komposit ZnO-SiO₂, maka kemampuan mengabsorpsi *dye* menjadi lebih besar dibandingkan TiO₂. Oleh karena itu, kelebihan ZnO-SiO₂ selain memiliki *band gap* hampir sama dengan TiO₂, juga memiliki absorbansi terhadap cahaya lebih besar.

Material ZnO termasuk bahan paduan dalam golongan II dan VI antara logam dan oksida. ZnO diakui sebagai salah satu material semikonduktor oksida yang paling menjanjikan karena mempunyai sifat optik, listrik dan *piezoelectric* yang baik (Fatiatun, 2015).

Tahapan eksperimen atau penelitian konversi energi matahari menjadi listrik menggunakan DSSC sangat panjang, sehingga kurang efisien melakukan eksperimen langsung, baik efisiensi waktu, dana, keadaan, dan lain sebagainya sehingga perlu dilakukan simulasi terlebih dahulu. Simulasi inilah yang kemudian dapat dijadikan acuan untuk melakukan eksperimen selanjutnya.

Ada beberapa macam simulasi yang telah dilakukan dan sudah banyak bahan yang digunakan untuk melakukan simulasi. Min Kyun Son, dkk (2014) menunjukkan simulasi yang dilakukan menggunakan metode sederhana untuk memodelkan DSSC. Konsep yang digunakan adalah konsep dasar untuk menentukan simulasi karakteristik I-V pada DSSC bebahan TiO₂. Algoritma simulasi mereka diprogram menggunakan *Microsoft Visual* C++ berdasarkan bahasa pemrograman-C. Hasilnya, Simulasi yang mereka lakukan sangat bagus dan sesuai dengan data hasil eksperimen.

Selain itu, juga ada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tripathi, dkk (2013), dengan metode DSSC menggunakan pemodelan impedansi AC dengan menvariasikan suhu dan intensitas radiasi matahari dalam keadaan *steady-state* dan parameter dinamik. Prediksi pemodelannya adalah prediksi kurva karakteristik I-V

dan prediksi resistansi dinamik pada DSSC. Hasilnya, model matematika yang disimulasikan ke dalam kurva karakteristik I-V dalam keadaan *steady-state* dan respon dinamik pada DSSC dengan rangkaian equivalen pada DSSC berhasil. Semua parameter dalam pemodelan tersebut sebanding dengan data hasil eksperimen.

Simulasi DSSC selanjutnya dilakukan oleh El Tayyan (2011) menggunakan parameter internal (L, α , m, D, n_o, τ). Dengan mengasumsikan bahwa transfer muatan pada elektroda pembanding adalah *potential controlled*, persamaan Butler-Volmer dapat diintegrasikan dengan model diferensial difusi elektron, dan model Schottky Barrier untuk menghitung efek *interfacial* pada *counter electrode/electrolyte* dan permukaan TiO₂/TCO pada kurva karakteristik J-V.

Simulasi yang akan peneliti lakukan adalah simulasi performa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbahan semikonduktor ZnO-SiO₂ dengan harapan memperoleh hasil simulasi yang lebih baik dan bisa diteruskan dalam melakukan penelitian atau eksperimen langsung di lapangan. Kelebihan dari ZnO-SiO₂ ini adalah selain lebih murah harganya, juga memiliki *band gap* yang hampir sama dengan TiO₂, yaitu 3,2 eV sehingga efisiensinya juga relatif besar.

1.2 Rumusan Masalah

- 1. Bagaimana hasil simulasi performa DSSC menggunakan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂?
- 2. Bagaimana perbandingan hasil simulasi performa DSSC berbahan semikonduktor ZnO-SiO₂ dengan literatur yang ada?

1.3 Tujuan

- Untuk mengetahui hasil simulasi performa DSSC dengan menggunakan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂
- Untuk mengetahui perbandingan hasil simulasi performa DSSC berbahan semikonduktor ZnO-SiO₂ dengan hasil simulasi pada penelitian sebelumnya.

1.4 Manfaat

1.4.1 Manfaat Umum

- Manfaat dari penelitian ini adalah untuk membantu meminimalkan penggunaan energi fosil yang sampai saat ini masih dominan digunakan dibandingkan energi terbarukan.
- 2. Manfaat lain dari penelitian ini adalah agar intensitas matahari dapat kita manfaatkan sehubungan dengan keadaan Indonesia yang berada dekat dengan garis khatulistiwa.

1.4.2 Manfaat Khusus

Manfaat dari penelitian ini adalah agar dapat lebih memahami bagaimana mensimulasikan efisiensi suatu sel surya dengan tingkat ketiga yaitu DSSC menggunakan *Simulink* MATLAB.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagi berikut:

 Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂.

- 2. Software yang digunakan adalah MATLAB, dalam hal ini GUI MATLAB.
- Simulasi dilakukan untuk menentukan kurva karakteristik I-V dan P-V berdasarkan beberapa perubahan, yaitu perubahan temperatur kerja, intensitas radiasi matahari, dan ketebalan.
- 4. Simulasi yang dilakukan berdasarkan data hasil pengukuran dengan menggunakan buah mangsi dan daun jati sebagai *dye*.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Energi matahari (energi surya) merupakan radiasi yang diproduksi oleh reaksi fusi nuklir pada inti matahari. Panas dan cahaya yang diterima bumi disuplai dari matahari untuk digunakan makhluk hidup. Energi surya sampai ke bumi dalam bentuk paket-paket energi yang biasa disebut foton (Septina dkk, 2007).

Segala sesuatu dalam kehidupan yang ada di bumi ini berinteraksi dengan cahaya. Sehingga cahaya masih menjadi topik yang sangat menarik untuk dibahas secara kontinyu. Bahkan munculnya teori dualisme cahaya sebagai partikel dan gelombang semakin membuktikan bahwa cahaya memiliki sifat istimewa yang menarik untuk didiskusikan (Callister, 2007).

Bergerak merupakan sifat dari cahaya yang dapat merambat tanpa memerlukan zat perantara sehingga dapat merambat ke segala arah, bahkan dapat merambat ke dalam ruang angkasa yang vakum. Cahaya diciptakan Allah untuk semua makhluk baik di bumi maupun di langit, seperti yang sudah dijelaskan dalam firman Allah Swt surat Yunus ayat 5 yang berbunyi:

هُوَ ٱلَّذِي جَعَلَ ٱلشَّمْسَ ضِيَآءَ وَٱلْقَمَرَ نُورَا وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُواْ عَدَدَ ٱلسِّنِينَ وَٱلْحِسَابَۚ مَا خَلَقَ ٱللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِٱلْحَقِّ يُفَصِّلُ ٱلَاَيَتِ لِقَوْمِ يَعْلَمُونَ ٢

"Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui" (Q.S. Yunus: 5). Surat Yunus 5 terdapat kata matahari yang bersinar. Sinar (cahaya) matahari tersebut dipancarkan ke bumi dan langit beserta isinya. Cahaya tersebut berasal dari matahari yang juga merupakan ciptaan Allah Swt. Di balik cahaya matahari tersebut terdapat energi yang dapat kita jadikan sebagai sumber energi terbarukan.

Banyak perkembangan teori atau penjelasan tentang cahaya mulai dari zaman plotomeus sampai masa keemasan Islam Abu Ali Hasan Ibn al-Haitam (Al-Hazen) hingga zaman Albert Einstein yang mempertanyakan tentang pembiasan. Bahkan sampai sekarang mengalami peningkatan teori yang menjelaskan tentang cahaya tersebut. Al-Hazen dalam teorinya menjelaskan bahwa setiap titik pada daerah yang tersinari cahaya, dapat mengeluarkan sinar ke segala arah. Namun, hanya satu sinar dari setiap titik yang masuk ke mata secara tegak lurus dapat dilihat. Sedangkan yang tidak dapat dilihat adalah cahaya yang mengenai mata tidak secara tegak lurus (Murtono, 2008).

Energi matahari menyuplai energi ke bumi dalam bentuk radiasi. Tanpa radiasi dari matahari, kehidupan di bumi tidak akan berjalan. Kuantitas energi matahari yang mencapai permukaan bumi berkisar 3,9 x 10^{24} Joule = 1,08 x 10^{18} kWh. Jadi energi yang diterima bumi adalah 10.000 kali lebih banyak dari permintaan energi primer secara global tiap tahunnya dan lebih banyak dari cadangan ketersediaan keseluruhan energi yang ada di bumi (Ihsan, 2013).

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi tergantung pada jarak antara bumi dengan matahari. Sepanjang tahun, jarak antara matahari dengan bumi bervariasi antara 1,47 x 10^8 km – 1,52 x 10^8 km. Akibatnya, *irradiance* E₀ berfluktuasi antara 1.325 W/m² – 1.412 W/m². Nilai rata-rata dari *irradiance* ini dikenal dengan *solar constant* (konstanta surya). Konstanta surya $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$ (Ihsan, 2013).

2.2 Sel Surya

Saat ini, energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang sedang giat dikembangkan. Salah satu aplikasi energi surya adalah pemanfatannya dalam konversi energi cahaya menjadi listrik yaitu dengan sel surya. Sebenarnya Indonesia sangat berpotensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan, mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari secara optimal dapat diterima hampir di seluruh Indonesia sepanjang tahun. Pengembangan sel surya menjadi sebuah tuntutan ketika manusia dihadapkan pada berbagai kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil dan *global warming* (Kumara, 2012).

Sel surya merupakan perangkat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang secara langsung arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya bergantung pada sinar matahari. Efek pada sel surya ini biasa disebut efek fotovoltaik (Adityawan, 2010). Becquerel adalah orang yang pertama kali menemukan efek fotovoltaik ini, yaitu pada tahun 1839 dengan mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Kemudian pada tahun 1954 peneliti di Bell Telephone pertama kali menemukan sel surya silikon berbasis *p-n junction* dengan efisiensi 6 %. Sampai sekarang, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82 % dengan efisiensi lab 24,7 % dan komersil sebesar 15 % (Septina dkk, 2007). Merupakan hal yang perlu dan penting dilakukan untuk mengembangkan sel surya sebagai solusi alternatif krisis energi dunia, mengingat sumber energi sel surya yang melimpah dan terbarukan. Permukaan bumi menerima suplai energi surya dari sinar matahari dalam jumlah yang sangat besar, yaitu mencapai 3 x 10²⁴ Joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Jadi dengan menutup 0,1 % permukaan bumi menggunakan sel surya yang memiliki efisiensi 10 %, sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia (Yuliarto, 2006 dalam Hardian dkk, 2010).

Pada sel surya dibutuhkan material yang dapat menangkap energi matahari, dan energi tersebut digunakan untuk memberikan energi ke elektron agar dapat berpindah melewati *band gap*-nya ke pita konduksi, dan kemudian dapat berpindah ke jangkauan luar. Melalui proses tersebutlah arus listrik dapat mengalir dari sel surya. Umumnya perangkat sel surya ini menggunakan prinsip *p-n junction* (Adityawan, 2010).

Perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik, dalam kaitannya dengan sel surya, terdapat dua parameter penting dalam energi surya untuk kita ketahui. Parameter pertama adalah intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang datang kepada permukaan per luas area. Karakteristrik spektrum cahaya matahari adalah parameter yang kedua. Intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi disebut konstanta surya, sebesar 1353 W/m². Beberapa spektrum cahaya hilang setelah disaring oleh atmosfer bumi, sehingga intensitas puncak radiasi menjadi sekitar 1000 W/m². Nilai tersebut merupakan intensitas radiasi pada

keadaan permukaan tegak lurus sinar matahari dan pada keadaan cerah (Wulandari, 2012).

Struktur sebuah sel surya, secara umum, terdiri atas kontak metal atas (kutub positif), lapisan anti refleksi (ARC), lapisan semikonduktor tipe n, sambungan p-n (p-n *junction*), lapisan semikonduktor tipe p, dan kontak metal bawah (kutub positif) gambar 2.1 memperlihatkan struktur dasar sel surya (Musila dkk, 2012).



Gambar 2.1 Struktur Dasar Sel Surya (Musila, 2012)

Modul surya merupakan bentuk produk yang dikeluarkan oleh industriindustri sel surya. Karena tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu modul, pada aplikasinya, masih cukup kecil (rata-rata maksimum tenaga listrik yang dihasilkan 130 W) maka dalam pemanfaatannya beberapa modul digabungkan dan terbentuklah *array*. Sebagai contoh untuk menghasilkan listrik sebesar 3 kW dibutuhkan *array* seluas kira-kira 20-30 meter² (Ihsan, 2013).

Sekarang ini, sel surya yang banyak digunakan adalah sel berbahan dasar silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor anorgonik. Karena silikon merupakan bahan sel surya yang mendominasi, menjadikan bahan tersebut lebih mahal harganya daripada sumber energi dari fosil. Oleh karena itu diperlukan sel surya yang lebih murah dengan kinerja sel tinggi, dan sel surya organik menjadi suatu solusi. Sel tersebut mudah dibuat dari material organik, tidak mahal, ringan, fleksibel dan beraneka warna (Hardeli, 2011).

2.3 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

2.3.1 Pengertian Umum

Michael Gratzel dan Brian O'Regan adalah orang yang pertama kali menemukan *Dye Sensitized Solar Cell* pada tahun 1991. DSSC ini telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan secara intensif oleh peneliti di seluruh dunia, bahkan di kalangan pelajar/mahasiswa maupun kalangan industri. Setelah sel surya silikon, DSSC merupakan terobosan pertama dalam teknologi sel surya. DSSC berbeda dengan sel surya konvensional, bahan ini merupakan bahan fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transpor muatan (Kumara, 2012).

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan sel surya fotoelektrokimia, terutama terdiri dari photoelectrode, elektrolit, dan elektroda lawan (Gratzel, 2003). Bahan DSSC yang banyak dikembangkan saat ini adalah dye, digunakan sebagai bahan fotoelektrokimia yang terabsorp pada permukaan semikonduktor. Sel surya ini memiliki dua komponen elektroda, yaitu elektroda kerja dan elektroda pembanding. Elektroda kerja dibuat dari kaca TCO yang dideposisikan pasta suatu semikonduktor tersensitisasi zat warna (dye) yang berfungsi sebagai transpor permbawa muatan dan zat warna sebagai penyerap cahaya. Sedangkan elektroda lawan dibuat dari kaca TCO yang dilapisi karbon. Kedua elektroda tersebut dirangkai mengapit elektrolit. Pasangan elektrolit redoks yang biasa digunakan adalah *iodide/triiodide* (I⁻/I₃⁻) (Gratzel, 2003).

Berbeda dengan sel surya konvensional, semua proses produksi pada DSSC harus melibatkan material silikon itu sendiri (Subodro, 2012). Tidak seperti sel surya silikon yang seluruh prosesnya melibatkan silikon saja dan terpisah, absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik DSSC terjadi pada proses yang terpisah. Pada DSSC, absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan separasi muatan dilakukan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai *band gap* lebar. *Band gap* lebar pada suatu semikonduktor akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi, sehingga ruang reaksi fotokatalis dan absorpsi oleh *dye* akan menjadi lebih banyak, dan spektrumnya menjadi lebih lebar (Nafi dan Susanti, 2013).

DSSC terdiri dari nanopori bahan semikonduktor, molekul *dye* yang terabsorpsi di permukaan bahan semikonduktor, dan katalis yang semuanya dideposisi di antara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada Gambar 2.2 (Septina dkk, 2007).



Gambar 2.2 Struktur Dye-Sensitized Solar Cell (Septina dkk, 2007).

Glass (kaca) terletak di bagian atas dan alas sel surya yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*) dan ZnO. Fungsi kaca tersebut adalah sebagai elektroda dan *counter-electrode*. Pada TCO *counter-electrode* dilapisi katalis, yang fungsinya untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Secara umum, pasangan redoks yang dipakai yaitu I^-/I^{3-} (*iodide/triiodide*). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori bahan semikonduktor yang mana *dye* terabsorpsi di pori bahan semikonduktor. *Ruthenium complex* adalah jenis *dye* yang umumnya digunakan (Septina dkk, 2007).

2.3.2 Cara Kerja DSSC

Cara kerja dari *Dye Sensitized Solar Cell* ini adalah, apabila permukaan sel terkena sinar matahari, elektron-elektron *dye* dari level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) tereksitasi ke tingkat energi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) dengan adanya foton yang berenergi sesuai. Prinsip kerja *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) ini mirip dengan fungsi klorofil proses fotosintesis tumbuhan. Lapisan semikonduktor bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer dari *dye* teroksidasi. Elektrolit redoks, yang terdiri dari pasangan iodida dan triiodida (Γ/Γ_3) bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel (Smestad dan Giratzel, 1998).

Gambar 2.3 menunjukkan skema kerja dari DSSC. Prinsip kerja dari DSSC, pada dasarnya merupakan reaksi dari transfer elektron, meliputi (Setiawan dkk, 2015):

 Terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorbsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D*)



$$D + e^- \longrightarrow D^*$$
 (2.1)

Gambar 2.3 Skema Kerja dari DSSC (Setiawan dkk, 2015).

Kemudian setelah dari *excited state*, elektron langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D⁺). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.

$$2D^+ + 3e^- \longrightarrow I^{3-} + 2D \tag{2.2}$$

- 3. Elektron akan mengalir menuju elektroda CE (*Counter-Elektrode*) melalui rangkaian eksternal setelah mencapai elektroda WE (*Working Electrode*),.
- 4. Adanya katalis pada elektroda CE (*Counter Electrode*), elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-) , akibat donor

elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk *iodide* (I^-).

$$I_3^- + 2e^- \longrightarrow 3I^-$$
 2.3)

5. *Iodide* ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus *transport* elektron. kemudian dari siklus ini, secara langsung akan terjadi konversi cahaya matahari menjadi listrik.

2.3.3 Material DSSC

Sebuah DSSC terdiri dari tiga komponen penting untuk terjadi suatu mekanisme fotovoltaik, yakni (Meng, 2010):

- Semikonduktor nanokristalin oksida sebagai elektroda, yang biasanya menggunakan TiO₂, yang memiliki fungsi untuk menampung fotoelektron. Dalam penelitian ini akan digunakan semikonduktor ZnO-SiO₂. Molekul *dye* terabsorpsi pada permukaan bahan semikonduktor untuk penyerapan cahaya tampak.
- 2. Elektrolit, yang akan menghantarkan elektron dari elektroda penutup untuk meregenerasikan *dye* yang tereksitasi.

2.4 Semikonduktor

Material semikonduktor adalah suatu padatan (solid) dan seperti logam, konduktifitas elektriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda dengan logam yang konduktifitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, konduktifitas dari material semikonduktor ini akan meningkat secara *significant*. Material semikonduktor merupakan bahan yang secara umum digunakan sel surya sebagai penghasil elektron bebas (Handini, 2008). Bahan semikonduktor adalah bahan yang bersifat setengah konduktor karena celah energi yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih kecil dari celah energi bahan isolator tetapi lebih besar dari celah energi bahan konduktor, sehingga memungkinkan elektron berpindah dari satu atom penyusun ke atom penyusun lain dengan perlakuan tertentu terhadap bahan tersebut (pemberian tegangan, perubahan suhu dan sebagainya). Oleh karena itu semikonduktor bisa bersifat setengah menghantar (Yelfianhar, 2014).



Gambar 2.4 Perbandingan celah energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator (Marchin, 2014).

Isolator merupakan struktur dasar dari bahan semikonduktor yang memiliki energi gap kurang dari 1 elektron volt (eV). Karena energi gap-nya tidak terlalu besar, maka eksitasi termal sangat memungkinkan bagi elektron untuk bergerak dari
pita valensi ke pita konduksi melewati energi gap tersebut. Pada suhu 0 K pita valensi terisi hampir penuh dan pita konduksi hampir kosong sehingga pada keadaan ini bahan bersifat isolator. Namun, ketika suhu dinaikkan, maka sebagian elektron valensi akan memperoleh energi termal yang lebih besar dari energi gap. Sehingga elektron-elektron dapat bergerak menuju pita konduksi sebagai elektron hampir bebas. Kekosongan elektron pada pita valensi disebut *hole* (lubang) yang mempunyai peran sama pentingnya seperti elektron yaitu sebagai penghantar listrik (Sholihun, 2009).



Gambar 2.5 Material dilihat dari struktur pita energi. a) konduktor, b) isolator, dan c) Semikonduktor (Sholihun, 2009)

Klasifikasi semikonduktor berdasarkan harga resistivitas listrik pada temperatur kamar, yakni dalam rentang 10^{-2} sampai $10^9 \Omega$ -m. Resistivitas listrik dipengaruhi oleh temperatur, cahaya yang menyinari, medan listrik dan medan magnet. Konduktor adalah bahan yang memiliki resistivitas lebih rendah. Sedangkan resistivitas lebih tinggi dimiliki oleh bahan isolator (Parno, 2006). Berdasarkan unsur pembentukannya, semikonduktor diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu sebagai berikut (Parno, 2006):

1. Semikonduktor intrinsik

Merupakan bahan semikonduktor murni dan tidak cacat. Contoh semikonduktor intrinsik adalah silikon murni. Pada temperatur yang sangat rendah, semua elektron pada semikonduktor berada pada ikatan kovalen, jadi tidak ada elektron bebas atau pembawa muatan sehingga bersifat sebagai isolator. Sedangkan temperatur tinggi pada semikonduktor terjadi agitasi termal yang menyebabkan beberapa elektron valensi keluar dari ikatan kovalen menjadi elektron bebas sebagai pembawa muatan negatif. Munculnya elektron bebas diikuti dengan terbentuknya *hole* (lubang) sebagai pembawa muatan positif. Jika terpasang beda potensial akan terjadi aliran arus.



Gambar 2.6 Ilustrasi Kondisi Elektron pada Temperatur Rendah dan Temperatur Tinggi (Parno, 2006)

2. Semikonduktor Ekstrinsik

Merupakan bahan semionduktor yang memperoleh pengotoran (*doping*) oleh atom lain. *Doping* ini bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas semikonduktor dan memperoleh semikonduktor dengan satu pembawa muatan (elektron atau *hole*) saja. Semikonduktor ekstrinsik dibagi menjadi dua, yaitu

semikonduktor tipe-n, diberi pengotor oleh atom pentavalen (P, As, Sb) yang atom pengotornya disebut atom donor, dan pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Dan semikonduktor tipe-p yang diberi pengotor oleh trivalent (B, Ga, In), atom pengotornya disebut atom akseptor dan pembawa muatan mayoritasnya adalah *hole*.

2.4.1 Karakteristik ZnO dan SiO2

ZnO (*Zinc Oxide*) adalah semikonduktor yang memiliki *band gap* yang cukup besar yaitu 3,37 eV sehingga dapat diaplikasikan sebagai sel surya (Prasatya dan Susanti, 2013). ZnO juga merupakan material semikonduktor yang bagus dan potensial digunakan untuk berbagai aplikasi dalam teknologi modern. Material semikonduktor ini dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi dalam pembuatan perangkat semikonduktor seperti, perangkat filter SAW, sensor gas dan TCO. Material ZnO termasuk bahan paduan dalam golongan II dan VI antara logam dan oksida. ZnO diakui sebagai salah satu material semikonduktor oksida yang paling menjanjikan karena mempunyai sifat optik, listrik dan *piezoelectric* yang baik (Fatiatun, 2015).

ZnO secara umum dapat dibuat dengan mereaksikan logam Zn dan oksigen pada suhu tinggi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Syamsuluri dkk, 2014):

$$2Zn + O_2 \longrightarrow 2ZnO$$
(2.4)

Umumnya ZnO berbentuk bubuk putih yang dikenal sebagai seng putih atau sebagai *zincite* mineral. Biasanya mineral berisi sejumlah unsur mangan dan lainnya (Syamsuluri dkk, 2014).

Material ini juga termasuk dalam semikonduktor tipe n, yang memiliki tiga macam struktur kristal yaitu *wurtzite, zinc blende, dan rocksalt*. Gambar 2.5 menunjukkan ketiga bentuk struktur kristal ZnO tersebut (Fatiatun, 2015).



Fasa yang stabil secara termodinamika, pada kondisi ruang, adalah fasa *wurtzite*. Kristal ZnO dengan struktur *zink blende* dapat menjadi stabil hanya dengan penumbuhan pada subtrat-subtrat struktur kubik (Widiyana, 2011).

No	Sifat (properties)	Nilai
1	Konstanta kisi pada T= 300 ⁰ T	$a_0 = 0,3249 \text{ nm}; c_0 = 0,5209$
2	Kerapatan	5,606 g/cm ³
3	Titik leleh	2248 K
4	Konstanta dielektrik relatif	8.66
5	Energi gap	3.4 eV, langsung
6	Konsentrasi pembawa instrinsik	$< 10^{6} \mathrm{cm}^{-3}$
7	Energi ikat eksiton	60 meV
8	Massa efektif elektron	0.24
9	Mobilitas elektron	200 cm ² /Vs

Tabel 2.1 Sifat Fisis Dasar ZnO dalam Ukuran Besar (*bulk*) (Widiyana, 2011)

Secara umum ZnO diaplikasikan sebagai sensor karena mengalami peningkatan konduktivitas permukaan bila mengabsorpsi dan sebagai *Transparent*

Conducting Oxide (TCO), elektroda transparan dalam teknologi fotovoltaik, piranti elektroluminisens, fotokatalis, sel surya, nano laser, dan material untuk piranti pemancar ultraviolet (Widiyana, 2011).

Silikon dioksida atau silika (SiO₂) adalah salah satu senyawa kimia yang paling umum. Secara umum kristral SiO₂ murni ditemukan di alam yang terdiri dari tiga bentuk polimorfis, diantaranya adalah kuarsa, Pasir, agata (akik), oniks, opal, batu kecubung (aametis). Sedangkan silikon dioksida dengan runutan bahan kotoran disebut *flint*. Bentuk-bentuk silika merupakan struktur Kristal yang penting, karena selain merupakan zat yang begitu melimpah dan dapat diaplikasikan, strukturnya merupakan unit mendasar dalam kebanyakan mineral. Kristal SiO₂ memiliki dua ciri utama yaitu setiap atom silikon berada pada pusat suatu tetrahedron yang terdiri dari empat atom oksigen dan setiap atom oksigen berada ditengah-tengah antara dua atom silikon (Harsono H, 2002).

Polimerisasi asam silikat merupakan hasil dari senyawa yang disebut silika, tersusun dari rantai satuan SiO₄ tetrahedral dengan formula umum SiO₂ (Sulastri dan Kristianingrum, 2010). Silika atau dikenal dengan silikon dioksida (SiO₂) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silikon dioksida (SiO₂) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih yang merupakan hasil pelapukan batuan, mengandung mineral utama seperti kuarsa dan felsfar (Wahyudi, 2011).

Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, dan K₂O, berwarna putih bening atau warna lain

bergantung pada senyawa pengotornya. Selain terbentuk secara alami, silika dengan struktur kristal tridimit dapat diperoleh dengan cara memanaskan pasir kuarsa pada suhu 870 °C dan bila pemanasan dilakukan pada suhu 1470 °C dapat diperoleh silika dengan struktur kristobalit (Wahyudi, 2011).

Nama lain	Silikon Dioksida
Rumus molekul	SiO ₂
Berat jenis (g/cm ³)	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair (⁰ C)	1610
Titik didih (⁰ C)	2230
Kekerasan (Kg/mm ²)	650
Kekuatan tekuk (Mpa)	70
Kekuatan tarik (Mpa)	110
Modulus elastisit <mark>as (G</mark> pa)	73 – 75 🥏
Resistivitas (Ωm)	>10 ¹⁴
Koordinasi geometri	Tetrahedral
Struktur kristal	Kristobalit, Tridimit, Kuarsa

Tabel 2.2 Karakteristik Silika Amorf (Wahyudi, 2011)

Silika terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat serta memiliki struktur dengan empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Gambar 2.8 memperlihatkan struktur silika tetrahedral (Wahyudi, 2011).



Gambar 2.8 Struktur silika tetrahedral (Wahyudi, 2011)

Silika pada umumnya berbentuk amorf terhidrat, namun jika pembakaran berlangsung terus-menerus pada suhu di atas 650 ^oC maka tingkat kristalinitasnya akan cenderung naik dengan terbentuknya fasa *quartz, crystobalite*, dan *tridymite* (Wahyudi, 2011).

door 2.5 Dontak kristar daana siinta (1) arjudi, 2011)			
Bentuk	Rentang Stabilitas (⁰ C)	Modifikasi	
Kristobalit	1470 – 1723	β -(kubik) α -(tetragonal)	
Tridmit	870-1470	γ -(?) β -(heksagonal) α -(ortorombik)	
Kuarsa	<870	β -(heksagonal) α -(trigonal)	

Tabel 2.3 Bentuk kristal utama silika (Wahyudi, 2011)

2.5 Performa Sel Surya

Sel surya akan menghasilkan daya listrik ketika mendapat cahaya yang diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, yaitu arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) akan dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum MPP (*Maximum Power Point*) (Setiawan dkk, 2015).



Fill Factor (FF) merupakan karakteristik lain yang penting dari sel surya yaitu, dengan persamaan (Setiawan dkk, 2015):

$$FF = \frac{V_{MPP}I_{MPP}}{V_{oc}I_{sc}}$$
(2.5)

Dengan menggunakan *Fill Factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan (Setiawan dkk, 2015):

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$
(2.6)

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{max}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{cahaya}), secara matematis ditulis (Setiawan dkk, 2015):

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \tag{2.7}$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya (Setiawan dkk, 2015).

2.6 Kurva I-V

Kurva I-V dari sel surya adalah superposisi dari kurva I-V dioda sel surya pada saat gelap dan terang. Pada saat disinari matahari (terang), kurva karakteristik I-V bergeser ke bawah dan mulai membangkitkan daya pada diode sel surya ini. Apabila gelap, maka *solar cell* akan memiliki kurva I-V hampir sama dengan dioda. Kurva I-V dioda akan bergeser jauh ke bawah jika intensitas dari penyinaran matahari lebih besar. Karena konvensional arus, maka nilai arusnya dibalik. Untuk menggambarkan kurva I-V dari sel surya, ada beberapa parameter penting yang perlu diketahui, diantaranya tegangan *open circuit*, arus *short circuit, fill factor*, efisiensi (Adityawan, 2010).

2.6.1 Arus Short Circuit

Arus yang diukur ketika tegangan dari sel surya bernilai nol dan sel surya dalam keadaan *short* biasa disebut arus *short circuit*. Arus ini terjadi ketika sejumlah pembawa (*carrier*) yang dikumpulkan pada *p-n junction* bergerak ke rangkaian luar, sehingga dengan kata lain, arus *short circuit* adalah arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh sel surya (Adityawan, 2010).

Arus sel surya tergantung pada beberapa faktor, diantaranya (Adityawan, 2010):

- 1. Luas dari sel surya
- 2. Jumlah foton (yaitu daya dari sumber cahaya yang jatuh). I_{sc} dari sel surya secara langsung bergantung pada intensitas cahaya.
- 3. Spektrum dari cahaya yang jatuh. Untuk kebanyakan pengukuran sel surya, spektrum distandarkan pada spektrum AM 1,5.
- 4. Sifat optikal (penyerapan dan pemantulan) sel surya.
- 5. Probabilitas pengumpulan sel surya, yang bergantung terutama pada *surface passivation* dan *lifetime* dari *minority carrier* pada *base*

2.6.2 Tegangan Open Circuit

Tegangan yang diukur ketika rangkaian sel surya dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke rangkaian luar, dan arus bernilai nol biasa dikenal dengan tegangan *open circuit* (V_{oc}). V_{oc} merupakan tegangan terbesar yang dapat dibangkitkan oleh sel surya (Adityawan, 2010).

2.6.3 Efek Temperatur

Sama halnya dengan bahan semikonduktor, sel surya juga memiliki sifat sensitif terhadap temperatur. Jika temperatur cenderung naik (bertambah), maka *band gap* dari sel surya menjadi berkurang, sehingga berpengaruh terhadap beberapa parameter dari sel surya. Meningkatnya energi elektron dari suatu material menunjukkan bahwa termperaturnya bertambah. Sehingga untuk memutuskan ikatan membutuhkan energi yang lebih rendah dari kondisi normal. Penurunan energi ikatan pada model ikatan *band gap* semikonduktor juga menurunkan *band gap*. Oleh sebab itu, peningkatan suhu menurunkan *band gap* (Adityawan, 2010).

2.6.4 Efek Intensitas Matahari

Intensitas cahaya matahari memiliki pengaruh yang penting baik pada arus *short current*, tegangan *open circuit*, *Fill factor*, efisiensi, dan hambatan seri maupun hambatan paralel. Intensitas cahaya dinyatakan dalam jumlah matahari, dimana satu matahari sesuai standar iluminasi pada AM 1,5 atau 1 kW/m² (Adityawan, 2010).

Arus *short circuit* secara langsung berhubungan dengan jumlah foton yang diserap oleh material semikonduktor dan kemudian sebanding dengan nilai intensitas cahaya, sedangkan tegangan *open circuit* hanya berubah sedikit ketika intensitas cahaya rendah. Intensitas cahaya matahari mungkin dapat berbeda setiap hari, hal ini menyebabkan energi yang masuk ke sel surya juga akan berubah-ubah, bervariasi antara 0 sampai 1 kW/m² (Adityawan, 2010).

2.7 Persamaan Karakteristik Sel Surya

Penggunaan rangkaian listrik setara memungkinkan untuk membuat model karakteristik sel surya. Metode yang digunakan diimplementasikan pada program MATLAB untuk simulasi. Metode yang sama juga dapat digunakan untuk mensimulasikan modul sel surya.

2.7.1 Model Sel Surya Ideal

Model sel surya ideal merupakan model rangkaian yang mengabaikan adanya hambatan dalam peranti, sehingga arus yang mengalir hanya melalui dioda ideal (Sholihun, 2009):



Gambar 2.10 Rangkaian setara sel surya ideal (Walker dalam Sholihun, 2009)

Persamaan rapat arus-tegangan (I-V) yang mewakili rangkaian setara ditunjukkan oleh rangkaian di atas adalah (Sholihun, 2009):

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)$$
(2.8)

Dengan:

- I_{ph} : Arus keluaran sel surya (A)
- Id : Arus dioda (A)
- Io : Arus saturasi sel surya (A)
- q : Muatan elektron (1,6 x 10⁻¹⁹ Coloumb)
- V : Tegangan (V)
- K : Konstanta Boltzman (1,38 x 10⁻²³ J/K)
- T : Suhu (Kelvin)

Arus saturasi sel surya pada dioda (I_o) dalam keadaan konstan di bawah suhu yang konstan dan ditemukan dengan menetapkan rangkaian terbuka.

Menggunakan persamaan (2.8) untuk menentukan nilai I_o dengan I = 0 (tidak ada arus yang keluar) (Sholihun, 2009):

$$0 = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)$$
$$I_{ph} = I_o \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)$$
$$I_o = \frac{I_{ph}}{\left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right)}$$
(2.9)

Jika nilai I_{sc} dapat diketahui dari *datasheet*, di bawah kondisi standar $G_o =$ 1000 W/m² pada massa udara (AM) = 1,5 G (W/m²), diberikan dengan (Sholihun, 2009):

$$I_{sc}|_{G} = \left(\frac{G}{G_{o}}\right)I_{sc}|_{Go}$$
(2.10)

Dengan:

 $I_{sc}|_{G}$: Arus hubung singkat saat kondisi radiasi (A)

Isc|Go : Arus hubung singkat saat kondisi radiasi standart (A)

- G : Kondisi radiasi (W/m²)
- G_o : Kondisi radiasi standart (W/m²)

Gambar 2.11 menunjukkan bahwa arus dan tegangan hubungan (sering disebut sebagai kurva I-V) dari sel surya yang ideal disimulasikan dengan MATLAB menggunakan model rangkaian sederhana setara. Output sel surya terbatas oleh arus sel dan tegangan sel, dan hanya dapat menghasilkan tenaga dengan setiap kombinasi dari arus dan tegangan pada kurva I-V. Hal ini juga menunjukkan bahwa saat ini sel sebanding dengan radiasi tersebut (Akihiro, 2005).



2.8 Keuntungan DSSC

Salah satu keuntungan utama teknologi DSSC dibandingkan dengan teknologi sel surya lain yaitu proses fabrikasinya yang relatif simpel, dan peralatan fasilitas yang dibutuhkan relatif mudah dan murah. Teknologi lama seperti *screen printing* dapat digunakan, dibandingkan dengan fasilitas *clean room* yang dibutuhkan oleh teknologi sel surya lain. Kemudian material dari sel dapat menjadi murah untuk produksi massal, karena keadaan sekarang harga menjadi signifikan akibat harga *dye* dan platina. Selain itu karena DSSC dapat dilapisi pada substrat yang fleksibel, contohnya polimer, maka sel surya dapat diproduksi menjadi berbagai bentuk dan diberbagai lokasi (Septina dkk, 2007).

2.8 MATLAB

Matlab adalah bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi dalam bidang komputasi. MATLAB memiliki kemampuan mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman. Oleh karenanya, matlab banyak digunakan dalam bidang riset-riset yang memerlukan komputasi numerik yang kompleks. Penggunaan MATLAB meliputi bidang-bidang: matematika dan komputasi, pembentukan algoritma, akusisi data, pemodelan, simulasi, dan pembuatan *prototype*, analisa data, explorasi, dan visualisasi, grafik keilmuan dan bidang rekayasa.

MATLAB merupakan kepanjangan dari *Matrix Laboratory*. Sesuai dengan namanya, struktur data yang terdapat dalam MATLAB menggunakan matriks atau *array* berdimensi dua (*double*). Oleh karenanya penguasaan teori matriks mutlak diperlukan bagi pengguna pemula Matlab agar mudah dalam mempelajari dan memahami operasi-operasi yang ada di Matlab.

2.9 Validasi Komputasi Pemodelan DSSC

Persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3 merupakan model matematis yang digunakan untuk mensimulasikan sel surya DSSC. Sebelum melakukan simulasi performa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂, pemodelan digunakan untuk mensimulasikan performa DSSC berbahan TiO₂. Simulasi tersebut didasarkan pada perbandingan data hasil eksperimen dari jurnal dengan data hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 2.3 (El Tayyan, 2011).

Parameter	Publised Values	Nilai Perhitungan
$L (cm^{-1}s^{-1})$	2,2361 x 10 ⁻³	2,0747 x 10 ⁻³
α (cm ⁻¹)	5000	5138,9831
М	4,5	4,4662
$D (cm^{-2}s^{-1})$	5.0 x 10 ⁻⁴	3.9353 x 10 ⁻⁴
No	10 ¹⁶	1.2911 x 1016
τms	10 MALK /A	10,978

Tabel 2.3 Perbandingan parameter internal *published values* dan nilai perhitungan (El Tayyan, 2011).



Gambar 2.12 Karakteristik I-V. Tanda titik adalah data hasil eksperimen, garis adalah data perhitungan (El Tayyan, 2011)



Gambar 2.13 Karakteristik P-V. Tanda titik adalah data hasil eksperimen, garis adalah data perhitungan (El Tayyan, 2011).

Berdasarkan data parameter-parameter tersebut, kemudian diperoleh grafik karakteristik I-V dan P-V dengan perbandingan yang sesuai antara nilai perhitungan dengan data hasil eksperimen. Perbandingan grafik karakteristik I-V dan P-V dari data hasil eksperimen dan hasil perhitungan ditunjukkan pada gambar 2.12 dan 2.13 Berdasarkan gambar 2.12 dan 2.13, simulasi yang dilakukan sudah sesuai dengan hasil eksperimen sehingga pemodelan dan simulasi performa DSSC tersebut dapat diimplementasikan menggunakan semikonduktor berbahan lain, yaitu ZnO-SiO2.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang simulasi performa DSSC dilakukan pada bulan April 2016 di Laboratorium Workshop Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim (MALIKI) Malang.

3.2 Pemodelan

Tahap pemodelan merupakan proses pembuatan model matematika dari suatu sistem fisis dengan menelaah dan menganalisis karakteristik sel surya DSSC yang kemudian akan disimulasikan dalam komputer. Model matematika dari DSSC didefinisikan sebagai sejumlah persamaan yang menggambarkan dinamika dari karakteristik tersebut secara tepat dan cukup baik. Model matematika tersebut dibuat untuk menentukan parameter-parameter internal pada DSSC (Φ , L, α , m, D). Persamaan-persamaan yang berkaitan dengan model sistem tersebut adalah sebagai berikut:

$$V_{\rm ph} = \frac{kT}{q} \,\mathrm{m} \ln \frac{n_{contact}}{n_{\rm o}} \tag{3.1}$$

$$J_{sc} = \frac{q\Phi L\alpha}{1 - L^2 \alpha^2} \left[-L\alpha + \tanh\left(\frac{d}{L}\right) + \frac{L\alpha \exp(-d\alpha)}{\cosh\left(\frac{d}{L}\right)} \right]$$
(3.2)

$$V_{oc} = \frac{kTm}{q} \ln \left[\frac{LJ_{sc}}{qDn_0 \tanh\left(\frac{d}{L}\right)} + 1 \right]$$
(3.3)

$$J = J_{sc} - \frac{qDn_0}{L} \tanh\left(\frac{d}{L}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kTm}\right) - 1\right]$$
(3.4)

Keterangan:

	: Tegangan sel (V)	
	k	: Konstanta Boltzman (1,38 x 10 ⁻²³ J/K)
	L	: Panjang difusi elektron ($\sqrt{D}\tau$)
	Т	: Temperatur (K)
	q	: Muatan elektron (1,6 x 10^{-19} C)
	m	: Faktor idealitas
	ncontact	: Konsentrasi elektron photogenerated
	no	: Konsentrasi elektron kondisi gelap
	D	: Koefisien difusi pada elektron
	Φ	: Intensitas penyinaran
	α	: Koefisien absorpsi cahaya
	d	: ketebalan bahan DSSC

Langkah-langkah yang harus dilakukan pada tahap pemodelan ini adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan persamaan yang akan digunakan.
- b. Merancang simulasi performa menggunakan persamaan di atas.
- c. Membuat halaman GUI dalam MATLAB



Gambar 3.1 Flow chart program simulasi

3.3 Pembuatan Simulasi

Pembuatan simulasi GUI dilakukan dengan dua tahap, yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan halaman GUI

Untuk membuat program simulasi performa sel surya DSSC, digunakan dua buah komponen GUI bernama *push button* sebagai tombol eksekusi untuk menampilkan hasil simulasi. Komponen masukan bernama *edit text* untuk memasukkan variable-variabel seperti temperatur, intensitas, ketebalan, *conduction band*, dan koefisien absorpsi untuk menentukan daya, tegangan, dan arus keluaran (I) yang tertulis dalam pemodelan simulasi performa di atas.

2. Penulisan *script* program di M-file pada proses simulasi

Setelah pembuatan halaman GUI diselesaikan, maka dilanjutkan dengan pembuatan program M-File untuk masing-masing GUI sehingga proses simulasi nantinya dapat berjalan. Program yang dijalankan berdasarkan persamaan pada pemodelan performa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Nilai variabel yang dimasukkan dikenal sebagai objek yang memiliki properti tertentu. Dengan fungsi *get* digunakan untuk mengambil nilai properti dari suatu objek, karena masukan program berjenis numerik, sehingga perlu dipadukan denga *star2double* untuk mengubah objek berbentuk numerik menjadi bentuk semulanya yaitu *string*. Kemudian, supaya objek dapat digunakan fungsi lainnya ditambahkan fungsi *handles object-object* dan *guidata* (*hobject, handles*). Langkah selanjutnya, penulisan *script* untuk hasil simulasi yaitu bagian yang sangat penting pada aplikasi ini adalah *function push button* yang merupakan tombol fungsi untuk melihat grafik simulasi dan *edit text* untuk mempermudah dalam menganalisis hasil simulasi.

3.4 Tahap Pengujian

Ada dua tahap yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu tahap pengujian dan simulasi. Pada tahap pengujian, dilakukan dua kali perlakuan, yaitu percobaan dengan menggunakan lampu halogen yang memiliki intensitas konstan dan percobaan dilakukan di bawah sinar matahari langsung sehingga memiliki nilai intensitas yang bervariasi. Pengujian bahan DSSC yang dilakukan, yaitu menggunakan dua bahan *dye*/elektrolit, daun jati dan buah mangsi dengan variasi waktu perendaman. Dua bahan tersebut dilakukan variasi waktu perendaman. Dua bahan tersebut dilakukan variasi waktu perendaman. Dua bahan tersebut dilakukan variasi waktu pengujian dengan variasi resistansi (100 k Ω hinggan ∞) dan intensitas (pengujian di bawah sinar matahar langsung) sehingga dihasilkan tegangan *output*nya. Begitu juga dengan pengujian menggunakan lampu halogen. Hambatan yang digunakan juga bervariasi, sama dengan hambatan yang digunakan pada pengujian matahari langsung. Setelah didapat data hasil eksperimen (pengujian) kemudian dilakukan simulasi performa menggunakan data tersebut.

3.5 Analisis Hasil

Analisis merupakan tahap yang penting dan menentukan hasil. Karena pada tahap ini sistem dikerjakan dan dimanfaatkan sedemikian rupa sampai berhasil menyimpulkan kebenaran yang diinginkan dalam penelitian. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan membuat simulasi dalam bentuk grafik yang kemudian dilanjutkan pembuatan GUI untuk menghasilkan kurva karakteristik I-V. Dari simulasi tersebut, dapat diketahui besar keluaran daya, arus dan tegangan *output* yang diperoleh dari masukan yang sudah dijelaskan dalam pemodelan.

Analisis yang dilakukan meliputi hubungan arus dan tegangan dalam grafik karakteristik I-V. Kemudian membandingkan grafik hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Langkah selanjutnya, hasil analisis tersebut dibahas berdasarkan karakteristik-karakteristik yang ada untuk kemudian ditarik suatu kesimpulan.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil simulasi pemodelan sel surya DSSC pada MATLAB Simulink R2015a (8.5.0.197613) 32-bit (win32) dengan variabelvariabel input, disertai dengan parameter-parameter internal, eksternal dan data hasil pengukuran.

4.1 Simulasi Performa DSSC

Simulasi sel surya DSSC dilakukan dengan menggunakan Simulink MATLAB R2015a (8.5.0.197613) 32-bit (win32). Data parameter didapat dari jurnal baik dari faktor ideal (m) bahan material yang digunakan dalam pembuatan sel surya, konstanta Boltzman (k), dan muatan elektron (q). Kemudian arus hubungan singkat (I_{sc}), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), intensitas (Φ), koefisien absorpsi (α), konsentrasi elektron (n), panjang difusi elektron (L), dan koefisien difusi pada elektron (D) diperoleh dari data hasil eksperimen, baik data hasil pengukuran maupun data hasil perhitungan.

Data yang diberikan pada pemodelan sel surya ini adalah muatan elektron (q) 1,6 x 10^{-19} , konstanta boltzman (k) 1,381 x 10^{-23} , faktor idealitas (m) pada bahan ZnO-SiO₂ menyesuaikan dengan rangkaian ideal yaitu 1, arus hubungan singkat (I_{sc}) dan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sesuai spesifikasi dari sel surya yang disimulasikan. Ketebalan dari bahan yang digunakan menjadi parameter terukur yaitu 30 x 10^{-5} cm dengan luas permukaan sel adalah 1,5 cm x 1,5 cm.

4.1.1 Simulasi Karakteristik Sel Surya DSSC dengan Dye Buah Mangsi

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari model yang telah dibuat. Dengan menggunakan karakteristik I-V dan P-V maka hasil simulasi dibandingkan kesesuaiannya dengan teori. Ada beberapa variasi yang dilakukan dalam simulasi ini, diantaranya adalah simulasi perfoma daya pada DSSC, perubahan ketebalan bahan DSSC, perubahan suhu, dan perubahan intensitas matahari. Variasi-variasi dalam simulasi ini didasarkan pada koefisien absorpsi yang dihasilkan dari pengukuran UV-VIS dengan menggunakan bahan elektrolit sebagai *dye* pada bahan DSSC, yaitu buah mangsi.

1. Simulasi penentuan daya keluaran

Dalam simulasi ini, intensitas yang digunakan tetap dijaga konstan, karena apabila terjadi perubahan intensitas radiasi matahari yang mengenai sel surya DSSC menggunakan bahan ZnO-SiO₂, maka berpengaruh terhadap daya listrik yang dibangkitkan oleh sel surya tersebut. Untuk itu intensitas radiasi yang digunakan dalam penentuan daya adalah intensitas pada lampu halogen baik sel surya menggunakan buah mangsi maupun daun jati. Kemudian, parameter yang sangat berpengaruh pada daya yang dihasilkan adalah arus keluaran. Hal ini seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2 grafik karakteristik I-V dan P-V yang telah dibuat berdasarkan koefisien absorpsi pada bahan elektrolit yang digunakan.



Nilai arus maksimum dan tegangan maksimum yang dihasilkan berdasarkan pada nilai masukan yang bernilai konstan. Masukan yang tetap dijaga konstan adalah intensitas radiasi matahari (Φ) sebesar 0,25 x10¹⁷ cm⁻²s⁻¹ yang setara dengan intensitas lampu halogen (235 W/m²), temperatur kerja 25 ^oC, dan ketebalan konstan yang diberikan senilai 3 x 10⁻⁴ cm. Arus maksimum dan tegangan maksimum yang dihasilkan ditunjukkan pada tabel 4.1 menghasilkan daya maksimum dengan menggunakan persamaan P_{max} = V_{max} x I_{max}.

user 1.1 Hush simulasi performa menentakan daya maksimam			
I _{sc}	V_{oc}	Р	
2,518 x 10 ⁻⁴	0,044	4,022 x 10 ⁻⁶	

Tabel 4.1 Hasil simulasi performa menentukan daya maksimum



Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai suatu masukan baik intensitas radiasi, suhu dan ketebalan sel surya berpengaruh terhadap daya keluaran. Selain nilai masukan tersebut, salah satu parameter yang sangat berpengaruh terhadap daya keluaran pada simulasi ini adalah nilai koefisien absorpsi bahan buah mangsi yang digunakan sebagai *dye* pada sel surya DSSC. Nilai koefisien absorpsi dari bahan ini adalah 2,18 x 10^2 yang diperoleh dari hasil pengujian UV-VIS. Nilai tersebut merupakan nilai rata-rata koefisien absorpsi dari variasi panjang gelombang pada pengujian UV-VIS. Dari grafik di atas terlihat bahwa daya maksimum yang dihasilkan adalah 4,022 x 10^{-6} W.

2. Perubahan temperatur

Untuk mengetahui pengaruh termperatur kerja pada sel surya DSSC menggunakan bahan ZnO-SiO₂, intensitas masukan dianggap konstan. Intensitas radiasi yang digunakan adalah intensitas lampu halogen, yaitu 0,25 x 10^{17} cm⁻²s⁻¹

yang setara dengan 235 W/m². Nilai ini merupakan nilai yang digunakan pada eksperimen sel surya menggunakan halogen sehingga intensitas radiasinya bernilai konstan. Temperatur kerja yang dipakai pada simulasi ini adalah 25 °C, 45 °C, 65 °C, 85 °C, dan 105 °C. Dengan nilai-nilai tersebut untuk masukan dari simulasi sel surya DSSC ini didapat grafik karakteristik I-V dan P-V seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.3 Karakteristik I-V hasil simulasi performa DSSC dengan perubahan suhu

Gambar 4.3 menunjukkan arus yang dihasilkan pada sel surya ini memiliki nilai yang hampir sama, yang membedakannya adalah saat terjadi penurunan kurva arus menuju titik nol. Dengan intensitas yang sama tersebut, pada suhu 25 ^oC penurunan kurva terjadi hingga tegangan 0,045 V. Saat temperatur naik menjadi 45 ^oC terjadi penurunan kurva hingga 0,048 V. Pada saat temperatur kerja naik menjadi 65 ^oC kurva karakteristik mengalami penurunan hingga 0,05 V dan ketika

temperatur kerja dinaikkan menjadi 85 ^oC kurva arus mengalami penurunan dengan kisaran hingga 0,052 V. Kemudian, setelah dinaikkan menjadi 105 ^oC, penurunan kurva mencapai 0,056 V. penurunan kurva tersebut berpengaruh terhadap tegangan maksimum yang dihasilkan saat daya yang dibangkitkan dari sel surya ini dalam keadaan maksimum.

Pengaruh yang terlihat pada simulasi dengan intensitas radiasi konstan dan variasi temperatur kerja adalah daya dan tegangan keluaran dari sel surya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 bahwa daya keluaran yang dihasilkan semakin meningkat ketika temperatur kerja dinaikkan.



Gambar 4.4 Karakteristik P-V hasil simulasi perubahan temperatur kerja dari sel surya

ionggananan olam mangor boolgar ujo.				
T (K)	$I_{sc}(A)$	$V_{oc}(V)$	P (W)	
298	4 x 10 ⁻³	0,1103	2,2745 x 10 ⁻⁴	
318	4 x 10 ⁻³	0,1177	2,4271 x 10 ⁻⁴	
338	4 x 10 ⁻³	0,1251	2,5798 x 10 ⁻⁴	
358	4 x 10 ⁻³	0,1325	2,7324 x 10 ⁻⁴	
378	4 x 10 ⁻³	0,1399	2,8851 x 10 ⁻⁴	

Tabel 4.2. Data hasil simulasi performa dengan variasi temperatur kerja menggunakan buah mangsi sebagai *dye*.

Dari tabel 4.2 dapat diketahui bahwa perubahan temperatur tidak mempengaruhi arus keluaran (J_{sc}) yang dihasilkan. Temperatur kerja berpengaruh terhadap nilai tegangan maksimum dan daya maksimum yang dihasilkan. Daya maksimum dan tegangan maksimum meningkat ketika temperatur kerja dinaikkan.

Setelah diketahui output keluaran, baik nilai arus dan tegangan yang dibangkitkan, kemudian dihasilkan *Fill Factor* yang merupakan hal penting pada sel surya. Nilai *fill factor* dalam simulasi ini bergantung pada J_{sc} , V_{oc} , I_{max} , dan V_{max} . Nilai *fill factor* pada simulasi perubahan temperatur ini adalah sebesar 0,3612.

3. Perubahan Intensitas Radiasi Matahari

Data yang dipakai dalam simulasi ini merupakan data intensitas radiasi matahari ketika cuaca terang yaitu 750 W/m², 770 W/m², 790 W/m², dan 810 W/m². Perubahan intensitas radiasi matahari yang mengenai permukaan sel surya DSSC menggunakan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂ berpengaruh terhadap daya listrik yang dibangkitkan dari sel surya tersebut. Besaran yang paling terpengaruh adalah

arus maksimum yang dihasilkan (I_{sc}). Hal ini seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5 yaitu grafik karakteristik I-V di bawah ini.



Gambar 4.5 menunjukkan bahwa grafik arus pada intensitas radiasi 750 W/m² yang setara dengan 0,75 x 10¹⁷ cm⁻²s⁻¹ merupakan arus yang paling kecil dibandingkan arus yang dibangkitkan dari intensitas 770 W/m², 290 W/m² dan intensitas 810 W/m². Hasil simulasi yang dibuat telah sesuai dengan teori yang menjelaskan pemodelan modul surya dengan variasi intensitas, yaitu untuk setiap kenaikan intensitas radiasi matahari, arus yang dihasilkan modul surya mengalami peningkatan (Kalmin, 2012). Selain itu juga terdapat teori yang menjelaskan bahwa arus dan tegangan yang dihasilkan meningkat seiring meningkatnya perubahan intensitas radiasi matahari (Meng Ni, 2006). Data tersebut kemudian berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan mengalami peningkatan

ketika intensitas yang diberikan dinaikkan, seperti terlihat pada grafik karakteristik P-V di bawah ini.



Dari gambar 4.6, dapat diketahui besaran-besaran yang dibangkitkan dari sel surya DSSC dengan perubahan intensitas, yakni:

Φ	I _{max}		P _{max}
$0,75 \ge 10^{17}$	7,5 x 10 ⁻⁴	0,0689	2,2157 x 10 ⁻⁵
$0,77 \ge 10^{17}$	7,5 x 10 ⁻⁴	0,0695	2,3037 x 10 ⁻⁵
0,79 x 10 ¹⁷	7,95 x 10 ⁻⁴	0,0702	2,392 x 10 ⁻⁵
0,81 x 10 ¹⁷	8,15 x 10 ⁻⁴	0,078	2,4828 x 10 ⁻⁵

Tabel 4.3 Data hasil simulasi performa DSSC berdasarkan perubahan intensitas

Simulasi dengan perubahan intensitas menghasilkan nilai arus dan daya yang semakin meningkat ketika intensitas yang diberikan dinaikkan. Setelah dilakukan simulasi dan dihasilkan nilai arus, tegangan dan daya maksimum, maka diperoleh nilai *fill faktor*, yaitu sebesar 0,4134.

4. Perubahan ketebalan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂

Ketebalan yang dipakai pada penelitian *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂ menggunakan buah mangsi sebagai *dye* adalah 30 x 10⁻⁵. Untuk mengetahui pengaruh ketebalan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂, maka dilakukan simulasi dengan perubahan ketebalan. Dari simulasi yang dilakukan dan menggunakan pemodelan matematis sesuai dengan pemodelan yang dilakukan El Tayyan (2011), perubahan ketebalan berpengaruh besar terhadap besaran keluaran yang dibangkitkan. Besaran yang sangat terpengaruh terhadap perubahan ketebalan adalah arus keluaran dan daya maksimum yang dihasilkan. Hasil simulasi pada perubahan ketebalan ini ditunjukkan pada gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Karakteristik I-V dengan perubahan ketebalan bahan DSSC

Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa ketika ketebalan bahan DSSC diperbesar, maka nilai arus keluaran menjadi semakin besar. Hal ini kemudian berpengaruh terhadap nilai daya yang dibangkitkan pada sel surya tersebut. Pengaruh dari perubahan ketebalan terhadap daya yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 4.8 yaitu grafik karakteristik P-V. Disamping itu, nilai daya yang dibangkitkan semakin besar ketika ketebalan bahan DSSC diperbesar.



Gambar 4.8 Grafik karakteristik P-V terhadap perubahan ketebalan bahan DSSC

Kemudian terlihat juga bahwa ketika arus yang dihasilkan semakin besar, nilai tegangam maksimum yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan arus yang dihasilkan berbanding terbalik dengan tegangan maksimum. Data hasil simulasi berdasarkan grafik karakteristik P-V di atas ditunjukkan pada tabel 4.4 di bawah ini. Setelah diketahui nilai keluaran yang dihasilkan, kemudian juga diperoleh nilai *fill factor* yang merupakan besaran penting dalam sel surya DSSC ini. Nilai *fill factor* yang dihasilkan adalah sebesar 0,3631.

D	I _{sc}	V _{oc}	Р
3 x 10 ⁻⁴	2,5 x 10 ⁻⁴	0,044	4,02 x 10 ⁻⁶
7 x 10 ⁻⁴	5,46 x 10 ⁻⁴	0,0431	8,5 x 10 ⁻⁶
11 x 10 ⁻⁴	7,84 x 10 ⁻⁴	0,0423	1,188 x 10 ⁻⁵
15 x 10 ⁻⁴	9,6 x 10 ⁻⁴	0,0415	1,4 x 10 ⁻⁵
19 x 10 ⁻⁴	5 1,1 x 10 ⁻³	0,0408	1,57 x 10 ⁻⁵

Tabel 4.4 Data hasil simulasi performa karakteristik P-V berdasarkan perubahan ketebalan bahan DSSC

4.1.2 Simulasi Karakteristik Sel Surya DSSC dengan Dye Daun Jati

Selain buah mangsi, elektrolit lain yang digunakan sebagai *dye* pada sel surya DSSC berbahan ZnO-SiO₂ adalah daun jati dengan koefisien absorpsi 1,89 x 10². *Output* yang dihasilkan berupa karakteristik I-V dan P-V dengan beberapa variasi dalam simulasi yaitu perubahan temperatur kerja, intensitas radiasi matahari, dan perubahan ketebalan bahan DSSC.

1. Simulasi menentukan daya keluaran

Ada beberapa parameter yang dijaga konstan untuk menentukan daya keluaran yang dibangkitkan, yaitu intensitas radiasi sebesar $0,25 \times 10^{17}$ cm⁻²s⁻¹ yang setara dengan 235 W/m², temperatur kerja (T) 25 °C, dan ketebalan bahan DSSC yaitu 30 x 10⁻⁵. Hasil simulasi berupa daya keluaran ditunjukkan pada karakteristik I-V dan P-V pada gambar 4.9 dan 4.10.



Dari gambar 4.9, diperoleh data hasil simulasi berupa nilai arus dan tegangan maksimum yang kemudian diperoleh nilai daya yang dibangkitkan dari simulasi DSSC tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.10 Karakteristik P-V menggunakan daun jati
Daya maksimal pada simulasi ini adalah 3,02006 x 10⁻⁶. Berdasarkan karakteristik I-V dan P-V pada simulasi yang dilakukan, kemudian dihasilkan data hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data hasil simulasi menentukan daya keluaran menggunakan daun jati sebagai *dye*.

I _{sc}	V _{oc}	Р
2,19 x 10 ⁻⁴	0,0411	3,2006 x 10 ⁻⁶

2. Perubahan temperatur kerja terhadap daya keluaran

Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur kerja yang diberikan pada simulasi performa DSSC menggunakan daun jati sebagai *dye* terhadap nilai keluaran hasil simulasi, maka intensitas radiasi dan ketebalan bahan DSSC dianggap konstan. Temperatur kerja yang dipakai pada simulasi berbahan daun jati sebagai *dye* ini adalah sama dengan simulasi perubahan temperatur kerja berbahan elektrolit buah mangsi yaitu 25 °C sampai 105 °C dengan interval sebesar 20 °C. Sedangkan nilai ketebalan, intensitas radiasi matahari, dan temperatur kerja pada simulasi ini tetap dijaga konstan.

Gambar 4.11 menunjukkan pengaruh perubahan temperatur terhadap nilai keluaran yang dihasilkan. Arus yang dihasilkan pada simulasi ini hampir bernilai sama. Hal yang membedakan adalah penurunan kurva arus menuju titik nol.



Ketika temperatur bernilai 25 ^oC terjadi penurunan kurva arus hingga 0,04 V. Penurunan kurva arus hingga 0,045 V ketika temperatur kerja dinaikkan menjadi 45 ^oC. Pada saat temperatur kerja dinaikkan menjadi 65 ^oC terjadi penurunan kurva hingga 0,047 V dan ketika temperaturnya dinaikkan menjadi 85 ^oC kurva arus mengalami penurunan hingga kisaran 0,05 V. kemudian ketika temperaturnya dinaikkan lagi menjadi 105 ^oC kurva arus mengalami penurunan hingga kisaran 0,052 V. Penurunan kurva arus tersebut berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan ketika daya yang dibangkitkan sel surya DSSC dalam keadaan maksimum.



Gambar 4.12 Karakteristik P-V hasil simulasi perubahan temperatur kerja menggunakan daun jati sebagai *dye*.

Pengaruh yang terlihat pada simulasi sel surya dengan intensitas radiasi konstan dan perubahan temperatur kerja adalah tegangan dan daya yang dibangkitkan. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan semakin meningkat ketika temperatur kerja dinaikkan. Data hasil simulasi karakteristik P-V ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Т	I _{sc}	V _{oc}	Р
298	2,19 x 10 ⁻⁴	0,0411	3,205 x 10 ⁻⁶
318	2,19 x 10 ⁻⁴	0,0439	3,421 x 10 ⁻⁶
338	2,19 x 10 ⁻⁴	0,0466	3,636 x 10 ⁻⁶
358	2,19 x 10 ⁻⁴	0,0494	3,851 x 10 ⁻⁶
378	2,19 x 10 ⁻⁴	0,0521	4,066 x 10 ⁻⁶

Tabel 4.6 Data hasil simulasi karakteristik P-V dengan variasi temperatur kerja

Setelah diketahui nilai keluaran yang dibangkitkan, yaitu nilai arus, tegangan, I_{sc} dan V_{oc} , maka kemudian dihasilkan nilai *fill factor* menggunakan perhitungan. Nilai *fill factor* yang dihasilkan adalah sebesar 0,3543.

3. Perubahan intensitas radiasi matahari

Temperatur kerja dan ketebalan bahan DSSC pada simulasi ini tetap dijaga konstan untuk mengetahui pengaruh perubahan intensitas radiasi matahari. Data intensitas radiasi yang digunakan dalam simulasi ini adalah 0,75 x 10¹⁷ sampai intensitas 0,81 x 10¹⁷ dengan interval 0,02 x 10¹⁷. Perubahan intensitas radiasi yang mengenai permukaan sel surya pada simulasi ini berpengaruh terhadap arus maksimal dan daya yang dibangkitkan. Hasil simulasi performa sel surya karakteristik I-V terhadap perubahan intensitas radiasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.13 Karakteristik I-V hasil simulasi perubahan intensitas matahari

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa perubahan intensitas matahari berpengaruh terhadap arus yang dihasilkan. Disamping itu, dihasilkan daya maksimal yang dibangkitkan berdasarkan kurva di atas. Hasil simulasi perubahan intensitas radiasi ditunjukkan pada grafik karakteristik P-V di bawah ini.



Gambar 4.14 Karakteristik P-V menggunakan daun jati sebagai *dye* dengan perubahan intensitas radiasi matahari

Gambar 4.14 menunjukkan karakteristik daya (P) – tegangan (V) yang dihasilkan ketika intensitas radiasi pada simulasi divariasikan. Data hasil simulasi yang diperoleh berdasarkan kurva karakteristik P-V di atas diilustrasikan pada tabel 4.7. Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa nilai arus mengalami peningkatan ketika intensitas yang diberikan dinaikkan. Nilai *fill factor* pada perubahan intensitas ini adalah sebesar 0,4065.

$\Phi (\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1})$	I _{sc}	V _{oc}	Р
0,75 x 10 ¹⁷	6,577 x 10 ⁻⁴	0,0656	1,802 x 10 ⁻⁵
0,77 x 10 ¹⁷	6,75 x 10 ⁻⁴	0,0662	1,875 x 10 ⁻⁵
0,79 x 10 ¹⁷	6,92 x 10 ⁻⁴	0,0669	1,948 x 10 ⁻⁵
0,81 x 10 ¹⁷	7,10 x 10 ⁻⁴	0,0674	2,022 x 10 ⁻⁵

Tabel 4.7 Data hasil simulasi berdasarkan karakteristik P-V pada perubahan intensitas.

4. Perubahan ketebalan bahan DSSC

Sama dengan buah mangsi, pada daun jati juga dilakukan simulasi dengan variasi ketebalan. Untuk mengetahui pengaruh ketebalan bahan DSSC pada simulasi ini, intensitas dan temperatur kerja tetap dijaga konstan yaitu berturut-turut $0,25 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ dan 30 x 10^{-5} cm. Hasil simulasi dengan variasi ketebalan bahan DSSC terlihat pada gambar 4.15 karakteristik I-V di bawah ini.



Gambar 4.15 Grafik karakteristik I-V hasil simulasi perubahan ketebalan bahan DSSC

Dari gambar 4.15 tampak bahwa nilai arus keluaran mengalami peningkatan yang signifikan ketika ketebalan bahan DSSC dinaikkan. Selain itu, perubahan ketebalan bahan DSSC pada simulasi ini juga mempengaruhi daya maksimum yang dibangkitkan dari sel surya tersebut.



Gambar 4.16 Kurva karakteristik P-V hasil simulasi performa sel surya berdasarkan perubahan ketebalan

Dari gambar 4.16 terlihat bahwa variasi ketebalan sangat berpengaruh terhadap daya keluaran yang dibangkitkan. Ketika ketebalan bahan DSSC pada simulasi dinaikkan, maka daya yang dibangkitkan juga mengalami peningkatan. Jadi perubahan ketebalan juga berpengaruh terhadap daya yang dibangkitkan pada sel surya DSSC berbahan ZnO-SiO₂.

D	I _{sc}	V_{oc}	Р
3 x 10 ⁻⁴	2,19 x 10 ⁻⁴	0,0411	3,205 x 10 ⁻⁶
7 x 10 ⁻⁴	4,78 x 10 ⁻⁴	0,0404	6,833 x 10 ⁻⁶
11 x 10 ⁻⁴	6,9 x 10 ⁻⁴	0,0397	9,629 x 10 ⁻⁶
15 x 10 ⁻⁴	8,5 x 10 ⁻⁴	0,0390	1,162 x 10 ⁻⁵
19 x 10 ⁻⁴	9,66 x 10 ⁻⁴	0,0384	1,293 x 10 ⁻⁵

Tabel 4.8 Data hasil simulasi karakteristik P-V berdasarkan perubahan ketebalan bahan DSSC menggunakan daun jati sebagai *dye*.

Gambar 4.15 dan 4.16 menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum yang dihasilkan mengalami penurunan ketika ketebalan dinaikkan. Hal ini disebabkan nilai arus dan daya yang dihasilkan mengalami peningkatan. Tegangan yang dihasilkan mengalami penurunan yang kurang signifikan, karena selain arus keluaran yang dihasilkan meningkat secara signifikan, daya yang dihasilkan juga mengalami kenaikan. Ketika arus yang dihasilkan mengalami peningkatan yang signifikan dan daya juga mengalami peningkatan, maka tegangan yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini benar adanya bahwa arus berbanding terbalik dengan tegangan. Setelah dihasilkan nilai keluaran yang dibangkitkan, kemudian dihasilkan nilai *fill factor* pada simulasi perubahan ketebalan ini, yaitu 0,3557.

Data hasil simulasi dan penjelasan mengenai pengaruh ketebalan terhadap nilai tegangan yang dihasilkan di atas sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Meng Ni (2008). Dari penelitian diketahui bahwa tegangan *open circuit* (Voc) mengalami penurunan dengan penambahan ketebalan. Sedangkan rapat arus yang dihasilkan mengalami peningkatan ketika pada simulasi mengalami penambahan ketebalan.

4.1.3 Perbandingan Hasil Simulasi Bahan Buah Mangsi dengan Daun Jati sebagai *Dye*

Setelah melakukan simulasi performa DSSC menggunakan bahan elektrolit buah mangsi dan daun jati sebagai *dye* pada sel surya menggunakan bahan ZnO-SiO₂ dengan beberapa variasi, kemudian dilakukan perbandingan hasil simulasi yang diperoleh.

Perbandingan hasil simulasi menggunakan buah mangsi dan daun jati dapat dilihat pada nilai keluaran. Dari hasil simulasi berupa grafik pada pembahasan sebelumnya dapat terlihat bahwa nilai keluaran yang dihasilkan berupa daya maksimum menggunakan buah mangsi sebagai *dye* lebih besar dibandingkan hasil simulasi performa menggunakan daun jati. Daya maksimum yang dihasilkan menggunakan buah mangsi adalah 4,022 x 10^{-6} , sedangkan daya maksimum yang dihasilkan menggunakan daun jati adalah $3,205 \times 10^{-6}$. Perbedaan nilai daya maksimum antara buah mangsi dengan daun jati terletak pada koefisien absorpsi masing-masing bahan, karena koefisien absorpi bahan DSSC berpengaruh terhadap nilai keluaran. Koefisien absorpsi pada buah mangsi yang dihasilkan dari hasil pengujian UV-VIS adalah $2,18 \times 10^2$ cm⁻¹ dan koefisien absorpsi pada daun jati adalah $1,89 \times 10^{-1}$ cm⁻¹.

Meng Ni dkk (2008) dalam simulasinya membuktikan bahwa koefisien absorpsi sangat berpengaruh terhadap nilai keluaran hasil simulasi. Apabila koefisien absorpsi yang diberikan semakin besar, maka nilai keluaran, baik arus, daya maupun tegangan juga mengalami peningkatan. Selain itu, nilai tegangan yang dihasilkan pada simulasi mengalami penurunan dengan meningkatnya ketebalan bahan DSSC.

4.2 GUI MATLAB

Graphical User Interface (GUI) merupakan sebuah aplikasi *display* dari MATLAB yang mengandung tugas, perintah, atau komponen program yang mempermudah pengguna dalam menjalankan sebuah program dalam MATLAB. Proses-proses perubahan nilai variable tidak perlu dilakukan lagi dalam progam (mfile) sehingga prosesnya semakin mudah dan cepat. Dalam simulasi ini, GUI dijadikan sebagai program untuk manampilkan grafik keluaran berupa kurva karakteristik I-V dan P-V dengan beberapa *input* parameter-parameter internal, eksternal dan hasil pengukuran.

GUI yang telah dibuat menyesuaikan dengan masukan-masukan yang dijadikan parameter dalam simulasi. Proses-proses perubahan variabel yang diberikan pada simulasi dimasukkan ke dalam GUI tanpa memasukkan ke dalam *list* program (m-file). Dalam program terdapat beberapa perintah untuk menjalankan GUI MATLAB. Tampilan utama dalam GUI diperintah dengan menggunakan *win1. Frame* pada m-file berfungsi untuk menampilkan halaman yang dapat digunakan untuk menulis judul simulasi. Kemudian terdapat beberapa *edit text* yang berfungsi sebagai menampilkan data *input*. Halaman terakhir pada GUI MATLAB menggunakan perintah grafik pada m-file. Untuk menampilkan hasil dan menutup pada GUI dapat menggunakan perintah tomproses dan tomtutup.



Gambar 4.17 Tampilan program GUI MATLAB

Gambar 4.17 merupakan tampilan GUI MATLAB yang dihasilkan. Masukan-masukan pada halaman GUI yang diperintah melalui m-file dengan menggunakan *edit text*, terdiri dari suhu, intensitas, *band conduction*, ketebalan, dan koefisien absorpsi. Kemudian terdapat dua perintah yaitu proses dan tutup yang berfungsi untuk menjalankan dan menutup jalannya program pada GUI.

Program GUI dibuat untuk memudahkan pengguna MATLAB dalam mensimulasikan sel surya DSSC dengan beberapa masukan. Masukan dapat diganti atau divariasikan sesuai perubahan yang diberikan tanpa merubah masukan pada m-file.

4.3 Konversi Energi Matahari dalam Perspektif Seorang Muslim

Menjadi suatu kewajiban bagi seorang Muslim menjaga dan melestarikan alam semesta untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, karena secara umum segala kebutuhan makhluk hidup berasal dari alam semesta. Salah satu kebutuhan makhluk hidup adalah energi. Sudah banyak kerusakan yang terjadi di alam semesta ini yang disebabkan oleh manusia dalam memenuhi kebutuhan energi. Kewajiban seorang Muslim adalah memenuhi kebutuhan energi tanpa merusak alam, yaitu dengan memanfaatkan sinar matahari. Matahari merupakan sumber energi utama yang bisa dimanfaatkan selain untuk menyinari bumi. Salah satu manfaat dari matahari adalah cahayanya yang mengandung energi dan dapat digunakan untuk dikonversi menjadi listrik. Matahari dapat menyinari bumi beserta isinya pada siang hari sesuai dengan firman Allah dalam Surat as-Syams ayat 1:

وَٱلشَّمْسِ وَضُحَنْهَا ٢

"Demi matahari dan cahayanya di pagi hari" (Q.S. as-Syams: 1).

Mujahid mengatakan: bahwa, wasy syamsi wa dluhaaHaa ("Demi matahari dan cahayanya di pagi hari.") yakni sinarnya. Sedangkan Qatadah mengatakan: wadluhaaHaa ("Pada pagi hari") yakni siang secara keseluruhan. Ibnu Jarir mengatakan bahwa yang benar adalah dengan mengatakan: "Allah bersumpah dengan matahari dan siangnya, karena sinar matahari yang paling tampak jelas adalah pada siang hari.

أَلَمْ تَرَوْا كَيْفَ خَلَقَ ٱللَّهُ سَبْعَ سَمَوَاتٍ طِبَاقًا ٢ وَجَعَلَ ٱلْقَمَرَ فِيهِنَّ نُورًا وَجَعَلَ ٱلشَّمْسَ سِرَاجًا (11)

"Tidakkah kamu perhatikan bagaimana Allah telah menciptakan tujuh langit bertingkat-tingkat? (15), dan Allah menciptakan padanya bulan sebagai cahaya dan menjadikan matahari sebagai pelita?" (Q.S. Nuh: 15-16)

Ibn Katsir menjelaskan bahwa dalam ayat ke 16 dari Surat Nuh Allah SWT hendak menjelaskan bahwa cahaya yang memancar dari bulan dan matahari terjadi secara silih berganti yang pada nantinya menjadi simbol pergantian malam dan siang. Dimana terbit dan terbenamnya matahari menjadi instrumen yang sangat jelas dalam menentukan akhir dari malam hari menjadi siang hari (saat matahari terbit) dan akhir dari siang hari menjadi malam hari (saat matahari terbenam). Pun bersinarnya bulan pada malam hari. Dimana dalam proses penyinarannya, bulan sedikit berbeda dengan matahari, yakni kadang dia bersinar secara total kadang pula dengan hanya separuh (dari bentuk sabit sampai purnama). Hal tersebut ternyata menjadi isyarat berlalunya bulan dan tahun. (Lihat Abu al-Fida' Ismail Ibn Katsir, Tafsir al-Qur'an al-'Azhim, Vol. XIV, hal. 141).

Ayat di atas menjelaskan tentang matahari menyinari bumi dan langit beserta isinya pada siang hari. Dalam al-Qur'an dijelaskan bahwa matahari merupakan *wahhaj* yang berarti cahaya dan panas. Matahari memancarkan sinar (cahaya) ke bumi dalam bentuk paket-paket energi yang dikenal sebagai foton (Septina dkk, 2007). Salah satu manfaat yang bisa diambil dari matahari dalam penelitian adalah dengan memanfaatkan energi matahari yang terdapat dalam cahaya yang dipancarkan matahari tersebut. Energi di dalam cahaya matahari dapat dikonversi menjadi listrik, yang salah satunya adalah menjadi energi listrik. Hal ini sesuai dengan hukum kekekalan energi yang menjelaskan bahwa energi tidak dapat diciptakan tetapi dapat diubah (dikonversi).

Berkaitan dengan konversi energi matahari menjadi listrik yang dapat dilakukan menggunakan sel surya DSSC, bahan *dye* yang digunakan bisa

menggunakan bahan alami dari alam. Karena segala sesuatu yang ada di alam tidak serta-merta diciptakan oleh Allah Swt, melainkan untuk dimanfaatkan oleh makhluk hidup, termasuk di dalamnya adalah manusia. Hal ini sesuai dengan Firman Allah Surat al-Anbiya ayat 16:

وَمَا خَلَقْنَا ٱلسَّمَآءَ وَٱلْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لَعِبِينَ ٢

"Dan tidaklah Kami ciptakan langit dan bumi dan segala yang ada di antara keduanya dengan bermain-main" (Q.S. al-Anbiya: 16).

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah Swt menciptakan langit dan bumi serta semua yang terdapat di antaranya, tidaklah untuk maksud yang percuma atau main-main, melainkan dengan tujuan yang benar, yang sesuai dengan hikmah dan sifat-sifat-Nya yang sempurna. Salah satu ciptaan Allah yang sangat bermanfaat bagi makhluk-Nya adalah matahari. Selain menyinari bumi dan langit beserta isinya, matahari merupakan sumber energi utama. Sumber energi tersebut berasal dari cahaya matahari yang kemudian dapat dikonversi menjadi listrik. Untuk lebih efisien, baik efisiensi materi, waktu, dan keadaan maka dilakukan simulasi perfoma dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik dengan menggunakan parameter-parameter yang ada sehingga kemudian dapat dilakukan penelitian dengan efisiensi tinggi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi performa sel surya DSSC berbahan ZnO-SiO₂ yang telah dilakukan dan hasil simulasi performa sel surya yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1. Pemodelan dan simulasi karakteristik sel surya *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbahan semikonduktor ZnO-SiO₂ menggunakan *software* MATLAB Simulink berjalan secara optimal dan berhasil dilakukan dengan memodifikasi parameter-parameter internal (Φ , τ , α , m, T), eksternal dan data hasil penelitian DSSC.
- 2. Perubahan-perubahan pada masukan data yang diberikan berpengaruh terhadap keluaran yang dihasilkan. Perubahan temperatur berpengaruh terhadap nilai tegangan dan daya maksimal yang dihasilkan. Sedangkan perubahan intensitas radiasi matahari berpengaruh terhadap nilai arus keluaran (I_{sc}). Kemudian perubahan ketebalan berpengaruh terhadap arus dan daya maksimal yang dibangkitkan, sedangkan nilai tegangannya semakin kecil. Selain pengaruh perubahan baik buah mangsi dan daun jati juga sangat berpengaruh terhadap nilai keluaran.
- Simulasi berjalan secara optimal dan berhasil dilakukan sehingga dapat digunakan untuk mensimulasikan bahan lain sebagai acuan pada eksperimen selanjutnya.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dari skripsi simulasi ini maka diberikan beberapa saran berikut:

- 1. Menggunakan GUI MATLAB secara langsung untuk menampilkan kurva karakteristik hasil simulasi.
- 2. Menggunakan bahan semikonduktor lain yang memiliki koefisien absorpsi yang lebih tinggi untuk menghasilkan tegangan yang maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Adityawan, Eki. 2010. Studi karakteristik Pencatuan Solar Cell terhadap Kapasitas Sistem Penyimpanan Energi Baterai. Depok: Universitas Indonesia.
- Akihiro, Oi. 2005. *Design And Simulation Of Photovoltaic Water Pumping System*. A Thesis Presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Ananduta, Wicak Wayan. 2011. Simulasi dan Analisis Sistem Maximum Power Point Tracker Berbasis Rangkaian Boost Converter. Depok: Universitas Indonesia.
- Callister, Jr, William D. 2007. *Materials Science and Engineering Seventh Edition*. Departement of Metallurgical Engineer The University of Utah.
- El Tayyan, Ahmed. 2011. Dye Sensitized Solar Cell: Parameters Calculation and Model Integration.
- Fatiatun. 2015. Pengaruh Suhu Deposisi Terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida Dengan Metode Dc Magnetron Sputtering. Semarang: UNS.
- Hardeli. 2011. Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Ubi Jalar Ungu, Wortel dan Kunyit sebagai Sumber Zat Warna. Padang: UNP.
- Harsono H. 2002. *Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi*. J Ilmu Dasar 3: 98-103.
- Ihsan. 2013. Peningkatan Suhu Modul dan Daya Keluaran Panel Surya dengan Menggunakan reflektor. Jurnal Teknosains, volume 7 nomer 2, hlm: 275-283.
- Kalmin, Akhmad. 2012. Simulasi dan Verifikasi Modul Surya Terhubung dengan Boost Converter pada Jaringan Listrik Mikro Arus Searah dengan Menggunakan MATLAB Simulink. Depok: UI.
- Kinal Kachhiya, Makarand Lokhande, Mukesh Patel, (2011). MATLAB/Simulink Model of Solar PV Module and MPPT Algorithm, National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology, B. V. M. Engineering College, V.V. Nagar, Gujarat India, pp. 1-5, 13-14 May 2011.
- Kumara, Maya Sukma Widya, Drs. Gontjang Prajitno, M.Si. 2012. Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC. Surabaya: Digilib ITS.

- Meng Ni, Leung, Michael K.H and Leung Y.C Dennis. 2008. Theoretical Modelling of the Electrode Thickness Effect on Maximum Power Point of Dye Sensitized Solar Cell. The Canadian Journal of Chemical Engineering. Hongkong: The University of Hongkong, Pokfulam Road.
- Meng, M. K. H. Leung, D. Y. C. Leung, and K. Sumathy. 2006. Theoretical Modeling of TiO2/TCO Interfacial Effect on Dye-Sensitized Solar Cell Performance, Solar Energy Materials & Solar Cells, 90, 2000-2009.
- Meng, S. Kaxiras, E. 2010. *Electron and Hole Dynamics in Dye-Sensitized Solar Cells: Influencing Factors and Systematic Trends*. China: Chinese Academy of Science Press.
- Murtono. 2008. Konsep Cahaya Dalam Al-Qur'an dan Sains. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Nafi, Maula & Susanti, Diyah. 2013. Aplikasi Semikonduktor TiO2 dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Terung Belanda (Solanum betaceum). Surabaya: ITS.

Parno. 2006. Fisika zat padat. Malang: Universitas Negeri Malang.

- Prasatya, Akbar Nur dan Susanti, Diah. 2013. Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di Coating ZnO terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (Solanum betaceum). Surabaya: ITS.
- Septina, W., D. Fajarisandi, dan M. Aditia. 2007. Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell). Bandung: Laporan Penelitian Bidang Energi, ITB.
- Setiawan, dkk. 2015. Sel Surya Berbasis Pewarna Alami dan Potensi Pengembangannya di Indonesia sebagai Sumber Energi Alternatif yang Ramah Lingkungan. Bali: UU.
- Sholihun. 2009. Komputasi Parameter Internal Sel Surya Organik dan Penentuan Pola Keterkaitannya terhadap Intensitas Menggunakan Metode LANBV. Tesis, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. September 2015.
- Subodro, Rohmat. 2012. Ekstraksi Pewarna Bahan Antosianin Kulit Terong Ungu Sebagai Pewarna Alami Pada Sel Surya Dye Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). Surakarta: Universitas Nahdlatul Ulama'.

- Sulastri, Siti. 2010. Berbagai Macam Senyawa Silika Silika: Sintesis, Karakterisasi, dan Pemanfaatan. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA. Yokyakarta: UNY.
- Syamsuluri, Sri dkk. 2014. Pengaruh Konsentrasi Seng Asetat Dehidrat (Zn(Ch3coo)2.2h2o) Terhadap Sifat Optik dan Struktur Kristal ZnO. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Wahyudi, Agus dkk. 2011. Penyiapan Nano Partikel Silika dari Mineral Silikat secara Mekanis. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara Badan Litbang Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Widiyana, Kasih. 2011. Penumbuhan Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Yang Disintesis dengan Metode Sonokimia dan Pemanfaatannya sebagai Tinta Pengaman. Semarang: UNS.

Yelfianhar, Ichwan. 2014. Semikonduktor. Batam: Iwan.

Yuliarto, Brian, PhD. 2011. Solar Sel. Bandung: ITB.



LANPIRAN

Lampiran 1 List Program Simulasi Menggunakan Buah Mangsi

1. Daya Keluaran

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
    = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 2.18 \times 10^{2};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 30 \times 10^{-5};
w = 0.235 \times 10^{17};
n = 100;
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L))
    + (L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
hold on
0 = [];
T = 298;
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J(i) = J_{sc} - (q^{*}D^{*}N/L)^{*} tanh(d/L)^{*}(e_{x}p(q^{*}V(i)/(k^{*}T^{*}m)) - 1);
    p = J(i) * V(i)
    0 = [0; p];
end
figure(1)
plot(V,J,'k.')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)
axis([0 0.08 0 0.5*10^-3])
hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'k.')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Power')
axis([0 0.08 0 0.5*10^-5])
gtext('Pmax = 3,635*10^{-6'})
hold off
```

2. Perubahan Temperatur

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
%a = 5138.9831;
%a = 2.05*10^3;
a = 2.18 \times 10^{2};
m = 4.4662;
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
\$t = 10.9378;
t = 3.37;
%d = 10*10^{-4};
d = 30 \times 10^{-5};
w = 0.25 \times 10^{17};
n = 10;
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L))
    + (L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L));
figure
hold on
for T=298:20:378
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1);
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V/(k*T*m))-1);
end
if T == 298
plot(V, J, 'r')
end
if T == 318
plot(V, J, 'b')
end
if T == 338
plot(V, J, 'k')
end
if T == 358
plot(V, J, 'y')
end
if T == 378
plot(V, J,'g')
end
hold on
end
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.1 0 0.3*10^-3])
hold off
```

3. Daya perubahan suhu

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
  = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 2.18 \times 10^{17};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 30 \times 10^{-5};
w = 0.25 \times 10^{17};
n = 100;
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q*w*L*a/(1-((L^2)*(a^2))))*(-L*a+tanh(d/L)...
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
hold on
0 = [];
T = 298:20:378;
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
   J(i) = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V(i)/(k*T*m))-1);
    p = J(i) * V(i)
    0 = [0; p];
end
figure(1)
plot(V,J,'y')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.7 0 0.02])
hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'g')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('power')
axis([0 0.3 0 0.5*10^-3])
hold off
```

4. Perubahan Intensitas Matahari

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
%a = 5138.9831;
%a = 2.05*10^3;
a = 2.18 \times 10^{2};
m = 4.4662;
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
\$t = 10.9378;
t = 3.37;
%d = 10*10^{-4};
d = 30 \times 10^{-4};
w = 10^{17};
n = 10;
T = 298;
%Tegangan Maksimum
figure
hold on
for w = 0.75 \times 10^{17} \cdot 0.02 \times 10^{17} \cdot 0.81 \times 10^{17}
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)..
    + (L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L));
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1);
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V/(k*T*m))-1);
end
if w == 0.75 \times 10^{17}
plot(V, J, 'r')
end
if w == 0.77 \times 10^{17}
plot(V, J,'b')
end
if w == 0.79 \times 10^{17}
plot(V, J, 'y')
end
if w == 0.81*10^17
plot(V, J,'g')
end
hold on
end
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.1 0 0.005])
hold off
```

5. Daya variasi intensitas

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 2.18 \times 10^{2};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 30 \times 10^{-5};
T = 298;
n = 100;
w = 0.75 \times 10^{17} : 0.02 \times 10^{17} : 0.81 \times 10^{17};
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)...
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L));
hold on
0 = [];
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1);
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
   J(i) = J_{sc} - (q^{D*N/L}) + tanh(d/L) + (e_{xp}(q^{V}(i) / (k^{T*m})) - 1)
    p = J(i) * V(i);
    0 = [0; p];
end
figure(1)
plot(V,J,'b')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.08 0 0.5*10^-3])
hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'r')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Power')
axis([0 0.2 0 0.5*10^-4])
%gtext('Pmax = 4.0221e-06')
hold off
```

6. Perubahan Ketebalan

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 5138.9831;
m = 4.4662;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 10.9378;
%d = 10 \times 10^{-4};
w = 10^{17};
n = 10;
T = 300;
figure
hold on
for d=3*10^-4:5*10^-4:23*10^-4
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)).
    + (L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J = Jsc - (q*D*N/L) * tanh (d/L) * (exp (q*V/(k*T*m)) - 1)
end
if d == 0.0003
plot(V, J, 'r')
end
if d == 0.0008
plot(V, J, 'b')
end
if d == 0.0013
plot(V, J, 'y')
end
if d == 0.0018
plot(V, J, 'g')
end
if d == 0.0023
plot(V, J,'g')
end
hold on
end
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.7 0 0.02])
hold off
```

7. Daya variasi ketebalan

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
  = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 2.18 \times 10^{17};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 30*10^{-5}:50*10^{-5}:230*10^{-5};
w = 0.25 \times 10^{17};
n = 100;
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)...
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
hold on
0 = [];
T = 298:20:378;
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
   J(i) = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V(i)/(k*T*m))-1);
    p = J(i) * V(i)
    0 = [0; p];
end
figure(1)
plot(V,J,'y')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.7 0 0.02])
hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'g')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('power')
axis([0 0.3 0 0.5*10^-3])
hold off
```

Lampiran 2

List Program Simulasi Performa menggunakan Daun Jati

1. Penentuan daya keluaran

hold off

```
%konstanta DSSC
   = 1.381 \times 10^{-23};
k
   = 1.602 \times 10^{-19};
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 1.89 \times 10^{2};
m = 1;
D = 5 \times 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 30 \times 10^{-5};
w = 0.25 \times 10^{17};
n = 100;
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L))
    + (L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
hold on
0 = [];
T = 298;
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J(i) = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V(i)/(k*T*m))-1);
    p = J(i) * V(i)
    0 = [0; p];
end
figure(1)
plot(V,J,'b')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.1 0 0.4*10^-3])
hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'b')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Power')
axis([0 0.1 0 0.05*10^-4])
gtext('Pmax = 3,205*10^{-6'})
```

2. Perubahan suhu

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
%a = 5138.9831;
%a = 2.05*10^3;
a = 1.89 \times 10^{2};
%m = 4.4662;
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
\$t = 10.9378;
t = 3.37;
%d = 10*10^{-4};
d = 30 \times 10^{-5};
w = 0.25 \times 10^{17};
n = 10;
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L))
    + (L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L));
figure
hold on
for T=298:20:378
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1);
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V/(k*T*m))-1);
end
if T == 298
plot(V, J, 'r')
end
if T == 318
plot(V, J, 'b')
end
if T == 338
plot(V, J, 'k')
end
if T == 358
plot(V, J, 'y')
end
if T == 378
plot(V, J,'g')
end
hold on
end
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.1 0 0.3*10^-3])
hold off
```

3. Daya variasi suhu

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
  = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 1.89 \times 10^{2};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 30 \times 10^{-5};
w = 0.25 \times 10^{17};
n = 100;
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q*w*L*a/(1-((L^2)*(a^2))))*(-L*a+tanh(d/L)...
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
hold on
0 = [];
T = 298:20:378;
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
   J(i) = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V(i)/(k*T*m))-1);
    p = J(i) * V(i)
    0 = [0; p];
end
figure(1)
plot(V,J,'y')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.7 0 0.02])
hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'g')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('power')
axis([0 0.1 0 0.01*10^-3])
hold off
```

4. Perubahan Intensitas Matahari

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
%a = 5138.9831;
%a = 2.05*10^3;
a = 1.89 \times 10^{2};
%m = 4.4662;
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
\$t = 10.9378;
t = 3.37;
%d = 10*10^{-4};
d = 30 \times 10^{-4};
w = 10^{17};
n = 10;
T = 298;
%Tegangan Maksimum
figure
hold on
for w = 0.75 \times 10^{17} \cdot 0.02 \times 10^{17} \cdot 0.81 \times 10^{17}
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)..
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
Voc = k*T*m/q*loq(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V/(k*T*m))-1);
end
if w == 0.75 \times 10^{17}
plot(V, J, 'r')
end
if w == 0.77 \times 10^{17}
plot(V, J, 'b')
end
if w == 0.79 \times 10^{17}
plot(V, J, 'y')
end
if w == 0.81*10^17
plot(V, J,'g')
end
hold on
end
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.1 0 0.005])
hold off
```

5. Daya variasi intensitas matahari

hold off

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 1.89 \times 10^{2};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 30 \times 10^{-5};
T = 298;
n = 100;
w = 0.75 * 10^{17}: 0.02 * 10^{17}: 0.81 * 10^{17};
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)...
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
hold on
0 = [];
Voc = k*T*m/q*loq(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
   J(i) = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V(i)/(k*T*m))-1);
    p = J(i) * V(i)
    0 = [0; p];
end
%figure(1)
%plot(V,J,'b')
%title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
%xlabel('Voltage (Volt)')
%ylabel('Current Density(mA/cm2)')
%axis([0 0.08 0 0.5*10^-3])
%hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'g')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Power')
axis([0 0.2 0 0.5*10^-4])
%gtext('Pmax = 4.0221e-06')
```

6. Perubahan ketebalan

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
  = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 1.89 \times 10^{2};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
%d = 10 \times 10^{-4};
w = 0.25 \times 10^{17};
n = 100;
T = 300;
figure
hold on
for d=0.3*10^-3:0.4*10^-3:0.19*10^-2
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L).
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L));
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1);
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V/(k*T*m))-1);
end
if d == 0.0003
plot(V, J, 'r')
end
if d == 0.0007
plot(V, J, 'b')
end
if d == 0.0011
plot(V, J,'k')
end
if d == 0.0015
plot(V, J, 'y')
end
if d == 0.0019
plot(V, J,'g')
end
hold on
end
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
axis([0 0.1 0 0.002])
hold off
```

7. Daya variasi tebal

```
%konstanta DSSC
k = 1.381 \times 10^{-23};
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
a = 1.89 \times 10^{2};
m = 1;
D = 5 * 10^{-4};
N = 10^{16};
t = 3.37;
d = 3*10^{-4}:5*10^{-4}:18*10^{-4};
T = 298;
n = 100;
w = 0.25 \times 10^{17};
%Tegangan Maksimum
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)...
    +(L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L))
hold on
0 = [];
Voc = k*T*m/q*loq(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1)
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
   J(i) = Jsc - (q*D*N/L)*tanh(d/L)*(exp(q*V(i)/(k*T*m))-1);
    p = J(i) * V(i)
    0 = [0; p];
end
%figure(1)
%plot(V,J,'b')
%title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
%xlabel('Voltage (Volt)')
%ylabel('Current Density(mA/cm2)')
%axis([0 0.08 0 0.5*10^-3])
%hold off
figure(2)
plot(V,O(:,1),'g')
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Power')
axis([0 0.1 0 0.2*10^-4])
%gtext('Pmax = 4.0221e-06')
hold off
```

Lampiran 3

```
List Program Simulasi Membuat GUI MATLAB
```

```
win1=figure(...
    'units', 'points',...
    'position', [100 100 750 400],...
    'color',[.2 .6 .3],...
    'menubar', 'none',...
    'resize','off',...
    'numbertitle', 'off',...
    'name', 'DYE SENSITIZED SOLAR CELL BAQIE');
frame1=uicontrol('parent',win1,...
    'units', 'points',...
    'position',[0 360 750 40],...
    'backgroundcolor', [.7 .7 .5],.
    'style','Frame');
label1=uicontrol('parent',win1,...
    'units', 'points',...
    'position', [230 370 300 20],...
    'backgroundcolor', [.7 .7 .5],...
    'style','Text',...
    'horizontalalignment','center',...
    'string', 'SIMULATION DYE SENSITIZED SOLAR CELL',..
    'fontname','Times New Roman',...
    'fontsize',12,...
    'fontweight', 'bold', ...
    'foregroundcolor', [1 1 1]);
label2=uicontrol('parent',win1,...
    'units', 'points',...
    'position', [200 50 100 15],...
    'backgroundcolor', [.8 .6 .3], ...
    'style','Text',...
    'horizontalalignment','center'
    'string','Suhu',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',11,...
    'fontweight', 'bold', ...
    'foregroundcolor',[1 1 1]);
label3=uicontrol('parent',win1,...
    'units', 'points',...
    'position', [200 20 100 15],...
    'backgroundcolor', [.8 .6 .3],...
    'style', 'Text',...
    'horizontalalignment', 'center',...
    'string', 'Intensitas',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',11,...
    'fontweight', 'bold',...
    'foregroundcolor',[1 1 1]);
 label4=uicontrol('parent',win1,...
    'units', 'points',...
    'position', [400 50 100 15],...
```

```
'backgroundcolor', [.8 .6 .3],...
    'style','Text',...
    'horizontalalignment', 'center',...
    'string', 'Band Conduction',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',11,...
    'fontweight', 'bold',...
    'foregroundcolor',[1 1 1]);
label5=uicontrol('parent',win1,...
    'units', 'points',...
    'position', [400 20 100 15],...
    'backgroundcolor', [.8 .6 .3],...
    'style','Text',...
    'horizontalalignment', 'center', ...
    'string', 'Ketebalan',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',11,...
    'fontweight', 'bold',...
    'foregroundcolor', [1 1 1]);
label6=uicontrol('parent',win1,.
    'units', 'points', ...
    'position',[600 50 100 15],...
    'backgroundcolor',[.8 .6 .3],...
    'style','Text',...
    'horizontalalignment', 'center', ...
    'string', 'Koefisien Abs',...
    'fontname', 'arial', ...
    'fontsize',11,...
    'fontweight', 'bold', ...
    'foregroundcolor', [1 1 1]);
edit1=uicontrol('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
    'position', [300 50 50 15],...
    'backgroundcolor', [1 1 1],...
    'style','Edit',...
    'string','0',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',10);
edit2=uicontrol('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
    'position',[300 20 50 15],...
    'backgroundcolor', [1 1 1],...
    'style', 'Edit',...
    'string','0',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',10);
edit3=uicontrol('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
    'position',[500 50 50 15],...
    'backgroundcolor', [1 1 1],...
    'style','Edit',...
    'string','0',...
    'fontname', 'arial',...
```
```
'fontsize',10);
edit4=uicontrol('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
    'position', [500 20 50 15],...
    'backgroundcolor', [1 1 1],...
    'style', 'Edit',...
    'string','0',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',10);
edit5=uicontrol('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
'position', [700 50 50 15],...
    'backgroundcolor', [1 1 1],...
    'style', 'Edit',...
    'string','0',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',10);
grafik3=axes('parent',win1
    'unit', 'points',...
    'position', [50 100 300 225],
    'xgrid','on',...
    'ygrid', 'on',...
'xcolor',[.4 0 .15],...
    'ycolor',[.4 0 .15],...
    'fontsize',8,...
    'color', [1 1 1]);
grafik2=axes('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
    'position', [400 100 300 225],...
    'xgrid', 'on', ...
    'ygrid', 'on',...
    'xcolor',[.4 0 .15],...
    'ycolor',[.4 0 .15],...
    'fontsize',8,...
    'color',[1 1 1]);
tomproses=uicontrol('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
    'position', [50 50 80 15],...
    'style', 'pushbutton',...
    'callback','fungsi d',...
    'string', 'Proses',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',10);
tomtutup=uicontrol('parent',win1,...
    'unit', 'points',...
    'position', [50 20 80 15],...
    'style', 'pushbutton',...
    'string','Tutup',...
    'fontname', 'arial',...
    'fontsize',10,...
    'callback','close');
```

```
%konstanta DSSC
T = str2num(get(edit1, 'String'));
w = str2num(get(edit2, 'String'));
t = str2num(get(edit3, 'String'));
d = str2num(get(edit4, 'String'));
a = str2num(get(edit5, 'String'));
    = 1.381 \times 10^{-23};
k
   = 1.602*10^-19;
q
L = 2.0747 \times 10^{-3};
%a = 5138.9831;
m = 4.4662;
D = 5*10^{-4};
N = 10^{16};
%t = 10.9378;
%d = 10*10^{-4};
%w = 10^{17};
n = 10;
%T = 300;
Jsc = (q^*w^*L^*a/(1-((L^2)^*(a^2))))^*(-L^*a+tanh(d/L)...
   < + (L*a*exp(-d*a))/cosh(d/L));</pre>
Voc = k*T*m/q*log(((L*Jsc)/(q*D*N*tanh(d/L)))+1);
V = linspace (0, Voc, n);
for i=1:n
    J = Jsc - (q*D*N/L) *tanh(d/L) * (exp(q*V/(k*T*m)) - 1);
    P = J.*V;
end
plot(V,J)
set(win1, 'CurrentAxes', grafik3);
hold on
set(grafik3,...
     'xgrid', 'on',...
     'ygrid', 'on',...
    'xcolor',[.4 0 .15],...
     'ycolor',[.4 0 .15],...
    'xlim',[0 0.7],...
    'ylim',[0 0.02],...
    'fontsize',8,...
     'color',[1 1 1]);
title('Dye Sensitized Solar Cell Power Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Power(W)')
plot(V,P)
set(win1, 'CurrentAxes', grafik2);
hold on
set(grafik2,...
    'xgrid','on',...
     'ygrid','on',...
    'xcolor',[.4 0 .15],...
```

```
'ycolor',[.4 0 .15],...
'xlim',[0 0.7],...
'ylim',[0 0.02],...
'fontsize',8,...
'color',[1 1 1]);
title('Dye Sensitized Solar Cell V-J Curve')
xlabel('Voltage (Volt)')
ylabel('Current Density(mA/cm2)')
```

hold on



Lampiran 4

Data Hasil Karakterisasi UV-Vis

Data hasil pengujian UV-VIS

1. Buah Mangsi

TEST SETUP GENESYS 10S UV-Vis v4.003 2L9P286007

Scanning	6:06am 29Mar16
Test Name	AS
Measurement	
Mode	Absorbance
Start Wavelength	200.0nm
Stop Wavelength	1100.0nm
Sample Positioner	Auto 6
Scan Speed	Fast
Interval	5.0nm 🧲
Cell Correction	Off
ID# (0=OFF)	1
Auto Save Data	On
Data File Name	ZNO

Wavelength	Abs	α
200	****	#VALUE!
205	****	#VALUE!
210	****	#VALUE!
215	****	#VALUE!
220	****	#VALUE!
225	***	#VALUE!
230	****	#VALUE!
235	****	#VALUE!
240	****	#VALUE!
245	****	#VALUE!
250	****	#VALUE!
255	****	#VALUE!
260	****	#VALUE!
265	****	#VALUE!
270	****	#VALUE!
275	****	#VALUE!
280	****	#VALUE!
285	****	#VALUE!

290	****	#VALUE!
295	****	#VALUE!
300	****	#VALUE!
305	****	#VALUE!
310	****	#VALUE!
315	****	#VALUE!
320	****	#VALUE!
325	****	#VALUE!
330	****	#VALUE!
335	****	#VALUE!
340	****	#VALUE!
345	****	#VALUE!
350	****	#VALUE!
355	****	#VALUE!
360	****	#VALUE!
365	****	#VALUE!
<mark>3</mark> 70	****	#VALUE!
3 75	****	#VALUE!
380	****	#VALUE!
385	****	#VALUE!
390	4.131	3.39775E-05
395	4.223	3.47342E-05
400	3.948	3.24723E-05
405	4.645	3.82051E-05
410	4.082	3.35745E-05
415	3.875	3.18719E-05
420	3.861	3.17567E-05
425	3.688	3.03338E-05
430	3.803	3.12797E-05
435	3.693	3.03749E-05
440	3.657	3.00788E-05
445	3.734	3.07122E-05
450	3.583	2.94702E-05
455	3.538	2.91001E-05
460	3.618	2.97581E-05
465	3.599	2.96018E-05
	2 (01	2.061025.05

	680	2.735	2.24954E-05
	685	2.695	2.21664E-05
	690	2.623	2.15742E-05
	695	2.582	2.1237E-05
	700	2.542	2.0908E-05
	705	2.52	0.000020727
	710	2.477	2.03733E-05
	715	2.464	2.02664E-05
	720	2.418	1.98881E-05
101	725	2.428	1.99703E-05
121	730	2.388	1.96413E-05
	735	2.368	1.94768E-05
ALIK	740	2.328	1.91478E-05
	745	2.324	1.91149E-05
	750	2.302	1.8934E-05
	755	2.31	1.89998E-05
	760	2.278	1.87366E-05
(11)	765	2.247	1.84816E-05
	770	2.248	1.84898E-05
	775	2.249	1.8498E-05
19	<mark>7</mark> 80	2.236	1.83911E-05
	785	2.195	1.80539E-05
	790	2.209	1.8169E-05
	795	2.191	1.8021E-05
	800	2.17	1.78483E-05
	805	2.165	1.78071E-05
	810	2.156	1.77331E-05
SDI 12	815	2.154	1.77167E-05
	820	2.147	1.76591E-05
	825	2.125	1.74781E-05
	830	2.129	1.7511E-05
	835	2.103	1.72972E-05
	840	2.109	1.73465E-05
	845	2.108	1.73383E-05
	850	2.099	1.72643E-05
	855	2.092	1.72067E-05
	860	2.105	1.73136E-05
	865	2.074	1.70587E-05
	870	2.067	1.70011E-05
	875	2.067	1.70011E-05
	880	2.053	1.68859E-05

1				1
	475	3.492	2.87217E-05	
	480	3.684	3.03009E-05	
	485	3.481	2.86312E-05	
	490	3.524	2.89849E-05	
	495	3.529	2.9026E-05	
	500	3.556	2.92481E-05	
	505	3.432	2.82282E-05	
	510	3.467	2.85161E-05	
	515	3.525	2.89931E-05	
	520	3.415	2.80884E-05	101
	525	3.498	2.87711E-05	10[
	530	3.425	2.81706E-05	
	535	3.374	2.77512E-05	ALIP
	540	3.383	2.78252E-05	
	545	3.398	2.79486E-05	
	550	3.422	2.8146E-05	
	555	3.342	2.748 <mark>8E-05</mark>	
	560	3.486	2.86724E-05	(1)
	565	3.295	2.71014E-05	
	570	3. <mark>30</mark> 4	2.71754E-05	
	575	3.193	2.62624E-05	
	580	3.275	2.69369E-05	
	585	3.227	2.65421E-05	
	590	3.201	2.63282E-05	
	595	3.218	2.6468 <mark>1E-</mark> 05	
	600	3.128	2.57278E-05	
	605	3.099	2.54893E-05	
	610	3.104	2.55304E-05	SPU
	615	2.992	2.46092E-05	
	620	3.089	2.5407E-05	
	625	3.106	2.55469E-05	
	630	3.031	2.493E-05	
	635	3.042	2.50205E-05	
	640	2.941	2.41897E-05	
	645	2.906	2.39019E-05	
	650	2.856	2.34906E-05	
	655	2.924	2.40499E-05	
	660	2.852	2.34577E-05	
	665	2.819	2.31863E-05	
	670	2.774	2.28162E-05	
	675	2.763	2.27257E-05	

	1	
885	2.052	1.68777E-05
890	2.055	1.69024E-05
895	2.036	1.67461E-05
900	2.034	1.67297E-05
905	2.018	1.65981E-05
910	2.03	1.66968E-05
915	2.025	1.66556E-05
920	2.016	1.65816E-05
925	2.019	1.66063E-05
930	2.021	1.66227E-05
935	2.002	1.64665E-05
940	2.005	1.64911E-05
945	1.999	1.64418E-05
<u>95</u> 0	1.993	1.63924E-05
955	1.991	1.6376E-05
960	1.994	1.64007E-0 <mark>5</mark>
965	1.986	1.6334 <mark>9E</mark> -05
970	1.978	1.62691E-05
975	1.975	1.62444E-05
980	1. <mark>95</mark> 3	1.60634E-05
985	1.964	1.61539E-05
990	1.964	1.61539E-05
995	1.97	1.62033E-05
1000	1.968	1.61868E-05
1005	1.958	1.6104 <mark>6E-05</mark>
1010	1.954	1.60717E-05
1015	1.958	1.61046E-05
1020	1.951	1.6047E-05
1025	1.955	1.60799E-05
1030	1.968	1.61868E-05
1035	1.956	1.60881E-05
1040	1.952	1.60552E-05
1045	1.952	1.60552E-05
1050	1.941	1.59647E-05
1055	1.948	1.60223E-05
1060	1.954	1.60717E-05
1065	1.977	1.62608E-05
1070	1.944	1.59894E-05
1075	1.994	1.64007E-05
1080	1.993	1.63924E-05
1085	1.932	1.58907E-05

1090	1.984	1.63184E-05
1095	2.013	1.65569E-05
1100	2.032	1.67132E-05

2. Daun Jati TEST SETUP GENESYS 10S UV-Vis v4.003 2L9P286007

Scanning	6:15am 29Mar16
Test Name	А
Measurement	
Mode	Absorbance
Start Wavelength	200.0nm
Stop Wavelength	1100.0nm
Sample	
Positioner	Auto 6
Scan Speed	Fast
Interval	5.0nm
Cell Correction	Off
ID# (0=OFF)	- 1
Auto Save Data	On
Data File Name	JATIZNO
	Scanning Test Name Measurement Mode Start Wavelength Stop Wavelength Sample Positioner Scan Speed Interval Cell Correction ID# (0=OFF) Auto Save Data Data File Name

Wavelength	Abs	А
200	****	#VALUE!
205	****	#VALUE!
210	****	#VALUE!
215	****	#VALUE!
220	****	#VALUE!
225	****	#VALUE!
230	0.299	2.46E-06
235	0.493	4.05E-06
240	0.82	6.74E-06
245	1.204	9.9E-06
250	1.485	1.22E-05
255	1.619	1.33E-05
260	1.96	1.61E-05
265	1.911	1.57E-05
270	2.047	1.68E-05
275	2.114	1.74E-05
280	2.211	1.82E-05
285	2.276	1.87E-05
290	2.339	1.92E-05
295	2.424	1.99E-05
300	2.428	2E-05

305	2.412	1.98E-05
310	2.46	2.02E-05
315	2.491	2.05E-05
320	2.442	2.01E-05
325	2.552	2.1E-05
330	2.504	2.06E-05
335	2.528	2.08E-05
340	2.518	2.07E-05
345	2.582	2.12E-05
350	2.523	2.08E-05
355	2.589	2.13E-05
360	2.635	2.17E-05
365	2.557	2.1E-05
370	2.521	2.07E-05
375	2 578	2 12E-05
373	2.573	2.11E-05
380	2.503	2 135-05
303	2.555	2.131-05
390	2.000	
393	2.025	2.10E-05
400	2.30	2.122-03
405	2.02	2.15E-05
410	2.598	2.14E-05
415	2.59	2.13E-05
420	2.662	2.19E-05
425	2.669	2.2E-05
430	2.5/8	2.12E-05
435	2.569	2.11E-05
440	2.612	2.15E-05
445	2.623	2.16E-05
450	2.0	2.14E-05
455	2.588	2.13E-05
460	2.653	2.18E-05
465	2.592	2.13E-05
470	2.56	2.11E-05
475	2.564	2.11E-05
480	2.591	2.13E-05
485	2.642	2.17E-05
490	2.621	2.16E-05
495	2.583	2.12E-05
500	2.572	2.12E-05
505	2.562	2.11E-05
510	2.589	2.13E-05
515	2.569	2.11E-05
520	2.604	2.14E-05
525	2.638	2.17E-05
530	2.649	2.18E-05

535	2.626	2.16E-05
540	2.643	2.17E-05
545	2.624	2.16E-05
550	2.583	2.12E-05
555	2.574	2.12E-05
560	2.606	2.14E-05
565	2.611	2.15E-05
570	2.613	2.15E-05
575	2.629	2.16E-05
580	2.58	2.12E-05
585	2.579	2.12E-05
590	2.607	2.14E-05
595	2.623	2.16E-05
600	2.622	2.16E-05
605	2.64	2.17E-05
610	2.647	2.18E-05
615	2.597	2.14E-05
620	2.652	2.18E-05
625	2.613	2.15E-05
630	2.64	2.17E-05
635	2.622	2.16E-05
640	2.625	2.16E-05
645	2.605	2.14E-05
650	2.609	2.15E-05
655	2.602	2.14E-05
660	2.585	2.13E-05
665	2.572	2.12E-05
670	2.583	2.12E-05
675	2.564	2.11E-05
680	2.575	2.12E-05
685	2.526	2.08E-05
690	2.506	2.06E-05
695	2.49	2.05E-05
700	2.497	2.05E-05
705	2.471	2.03E-05
710	2.453	2.02E-05
715	2.433	2E-05
720	2.423	1.99E-05
725	2.45	2.02E-05
730	2.389	1.96E-05
735	2.368	1.95E-05
740	2.334	1.92E-05
745	2.317	1.91E-05
750	2.327	1.91E-05
755	2.311	1.9E-05
760	2.314	1.9E-05

			-			
765	2.301	1.89E-05		935	2.055	1.69E-05
770	2.29	1.88E-05		940	2.057	1.69E-05
775	2.279	1.87E-05		945	2.054	1.69E-05
780	2.266	1.86E-05		950	2.05	1.69E-05
785	2.259	1.86E-05		955	2.041	1.68E-05
790	2.244	1.85E-05		960	2.045	1.68E-05
795	2.231	1.83E-05		965	2.046	1.68E-05
800	2.251	1.85E-05		970	2.038	1.68E-05
805	2.207	1.82E-05		975	2.033	1.67E-05
810	2.207	1.82E-05		980	2.048	1.68E-05
815	2.212	1.82E-05		985	2.023	1.66E-05
820	2.18	1.79E-05	IS/	990	2.025	1.67E-05
825	2.169	1.78E-05		995	1.995	1.64E-05
830	2.157	1.77E-05	111	1000	2.023	1.66E-05
835	2.18	1.79E-05		1005	2.015	1.66E-05
840	2.159	1.78E-05		1010	2.006	1.65E-05
845	2.156	1.77E-05		1015	1.997	1.64E-05
850	2.152	1. <mark>77</mark> E-0 <mark>5</mark>		1020	2.008	1.65E-05
855	2.161	1.78E-05		1025	1.995	1.64E-05
860	2.14 5	1.76E-05		1030	1.99	1.64E-05
865	2. <mark>14</mark> 8	1.77E-05		1035	1.988	1.64E-05
870	2.135	1.76E-05		1040	1.982	1.63E-05
875	2.136	1.76E-05		1045	1.955	1.61E-05
880	2.1 <mark>1</mark> 6	1.7 <mark>4E-05</mark>		1050	1.971	1.62E-05
885	2.0 <mark>63</mark>	1.7E-05		1055	1.948	1.6E-05
890	2.097	1.72E-05		1060	1.96	1.61E-05
895	2.102	/ 1.7 <mark>3E-05</mark>		1065	1.925	1.58E-05
900	2.083	1.71E-05		1070	1.878	1.54E-05
905	2.1	1.73E-05		1075	1.891	1.56E-05
910	2.074	1.71E-05		1080	1.842	1.52E-05
915	2.082	1.71E-05		1085	1.889	1.55E-05
920	2.048	1.68E-05	105	1090	1.81	1.49E-05
925	2.073	1.71E-05		1095	1.776	1.46E-05
930	2.068	1.7E-05		1100	1.744	1.43E-05

Lampiran 5

Data Hasil Uji Listrik

Daun Jati 18 Jam (Matahari)

Vsc = 0.681 V; $Rsc = 1.3 M\Omega$

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10^{5}	0.545	5.456×10 ⁻⁶	723	2.97×10 ⁻⁶	0.001826
2	2×10 ⁵	0.604	3.02×10 ⁻⁶	790	1.82×10 ⁻⁶	0.001026
3	3×10 ⁵	0.616	2.05×10 ⁻⁶	736	1.26×10 ⁻⁶	0.000764
4	4×10 ⁵	0.628	1.57×10 ⁻⁶	725	9.86×10 ⁻⁷	0.000604
5	4.7×10 ⁵	0.632	1.34×10 ⁻⁶	725	8.50×10 ⁻⁷	0.000521
6	6.6×10 ⁵	0.639	9.68×10 ⁻⁷	733	6.19×10 ⁻⁷	0.000375
7	8.8×10 ⁵	0.642	7.30×10 ⁻⁷	748	4.68×10 ⁻⁷	0.000278
8	1 ×10 ⁶	0.644	6.44×10 ⁻⁷	755	4.15×10 ⁻⁷	0.000244
9	2.2×10^{6}	0.65	2.95×10 ⁻⁷	746	1.92×10 ⁻⁷	0.000114
10	~	0.664	0	745	0	0

Daun Jati 18 Jam (Halogen)

No	R	V (<mark>V</mark> olt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	2.4×10 ⁻³	2.4×10 ⁻⁸	235	5.76×10 ⁻¹¹	3.026×10 ⁻⁷
2	2×10 ⁵	3.5×10 ⁻³	1.75×10 ⁻⁸	235	6.13×10 ⁻¹¹	6.05201×10 ⁻⁷
3	3×10 ⁵	4.4×10 ⁻³	1.47×10 ⁻⁸	235	6.45×10 ⁻¹¹	9.07801×10 ⁻⁷
4	4×10 ⁵	5.7×10 ⁻³	1.43×10 ⁻⁸	235	8.12×10 ⁻¹¹	7.99054×10 ⁻⁷
5	4.7×10 ⁵	5.8×10 ⁻³	1.23×10 ⁻⁸	235	7.16×10 ⁻¹¹	1.16292×10 ⁻⁶
6	6.6×10 ⁵	6.6×10 ⁻³	1.00×10 ⁻⁸	235	6.6×10 ⁻¹¹	1.79096×10 ⁻⁶
7	8.8×10 ⁵	7.7×10 ⁻³	8.75×10 ⁻⁹	235	6.74×10 ⁻¹¹	1.45283×10 ⁻⁶
8	1×10^{6}	7.9×10 ⁻³	7.90×10 ⁻⁹	235	6.24×10 ⁻¹¹	1.48274×10^{-6}
9	2.2×10 ⁶	9.6×10 ⁻³	4.36×10 ⁻⁹	235	4.19×10 ⁻¹¹	2.60047×10 ⁻⁶
10	~	17×10-3	0	235	0	0

Daun Jati 12 Jam (Matah	ari)
-------------------------	------

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.081	8.10×10 ⁻⁷	893	6.56×10 ⁻⁸	3.2654×10 ⁻⁵
2	2×10 ⁵	0.107	5.35×10 ⁻⁷	872	5.72×10 ⁻⁸	2.91769×10 ⁻⁵
3	3×10 ⁵	0.13	4.33×10 ⁻⁷	832	5.63×10 ⁻⁸	3.00926×10 ⁻⁵
4	4×10 ⁵	0.131	3.28×10 ⁻⁷	914	4.29×10 ⁻⁸	2.08619×10 ⁻⁵
5	4.7×10 ⁵	0.137	2.91×10 ⁻⁷	911	3.99×10 ⁻⁸	1.94824×10 ⁻⁵
6	6.6×10 ⁵	0.155	2.35×10 ⁻⁷	863	3.64×10 ⁻⁸	1.87468×10 ⁻⁵
7	8.8×10 ⁵	0.158	1.80×10 ⁻⁷	884	2.84×10 ⁻⁸	1.42625×10 ⁻⁵
8	1 ×10 ⁶	0.243	2.43×10 ⁻⁷	769	5.90×10 ⁻⁸	3.41274×10 ⁻⁵
9	2.2×10 ⁶	0.303	1.38×10 ⁻⁷	648	4.17×10 ⁻⁸	2.86223×10 ⁻⁵
10	~	0.313	0	376	0	0

Daun Jati 12 Jam (Halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁹	235	2.50×10 ⁻¹²	4.72813×10 ⁻⁹
2	2×10 ⁵	1×10 ⁻³	5×10 ⁻⁹	235	5×10 ⁻¹²	9.45626×10 ⁻⁹
3	3×10 ⁵	1.4×10 ⁻³	4.67×10 ⁻⁹	235	6.53×10 ⁻¹²	1.23562×10 ⁻⁸
4	4×10 ⁵	1.7×10 ⁻³	4.25×10 ⁻⁹	235	7.23×10 ⁻¹²	1.36643×10 ⁻⁸
5	4.7×10 ⁵	2.1×10 ⁻³	4.4 <mark>7×10</mark> -9	235	9.38×10 ⁻¹²	1.77456×10 ⁻⁸
6	6.6×10 ⁵	3×10 ⁻³	4.55×10 ⁻⁹	235	1.36×10 ⁻¹¹	2.57898×10 ⁻⁸
7	8.8×10 ⁵	3.8×10 ⁻³	4.32×10 ⁻⁹	235	1.64×10 ⁻¹¹	3.10337×10 ⁻⁸
8	1×10^{6}	5.8×10 ⁻³	5.80×10 ⁻⁹	235	3.36×10 ⁻¹¹	6.36217×10 ⁻⁸
9	2.2×10 ⁶	6.3×10 ⁻³	2.86×10 ⁻⁹	235	1.80×10 ⁻¹¹	3.41199×10 ⁻⁸
10	~	14.5×10 ⁻³	0	235		0

Daun Jati 6 jam (Matahari)			Vsc = 0.	625 V ; Rsc = 1.2	MΩ	
No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.028	2.80×10 ⁻⁷	764	7.84×10 ⁻⁹	4.56079×10 ⁻⁶
2	2×10 ⁵	0.046	2.30×10 ⁻⁷	774	1.06×10 ⁻⁸	6.07522×10 ⁻⁶
3	3×10 ⁵	0.056	1.87×10 ⁻⁷	774	1.05×10^{-8}	6.00249×10 ⁻⁶
4	4×10 ⁵	0.061	1.53×10 ⁻⁷	775	9.30×10 ⁻⁸	5.33477×10 ⁻⁶
5	4.7×10 ⁵	0.092	1.96×10 ⁻⁷	768	1.80×10^{-8}	1.04216×10 ⁻⁵
6	6.6×10 ⁵	0.116	1.76×10 ⁻⁷	759	2.04×10 ⁻⁸	1.19384×10 ⁻⁵
7	8.8×10 ⁵	0.121	1.38×10-7	758	1.66×10 ⁻⁸	9.7552×10 ⁻⁶
8	1 ×10 ⁶	0.13	1.30×10 ⁻⁷	697	1.69×10 ⁻⁸	1.07763×10 ⁻⁵
9	2.2×10 ⁶	0.193	8.77×10 ⁻⁸	770	1.69×10 ⁻⁸	9.77279×10 ⁻⁶
10	~	0.332	0	773	0	0

Daun Jati 6 jam (Halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	4×10 ⁻³	4×10 ⁻⁸	235	1.60×10^{-10}	3.026×10 ⁻⁷
2	2×10 ⁵	8×10 ⁻³	4×10 ⁻⁸	<mark>2</mark> 35	3.2×10^{-10}	6.05201×10 ⁻⁷
3	3×10 ⁵	1.2×10 ⁻²	4×10 ⁻⁸	235	4.8×10^{-10}	9.07801×10 ⁻⁷
4	4×10 ⁵	1.3×10 ⁻²	3.2×10 ⁻⁸	235	4.23×10^{-10}	7.99054×10 ⁻⁷
5	4.7×10 ⁵	1.7×10 ⁻²	3.62×10 ⁻⁸	235	6.15×10 ⁻¹⁰	1.16292×10 ⁻⁶
6	6.6×10 ⁵	2.5×10 ⁻²	3.79×10 ⁻⁸	235	9.47×10 ⁻¹⁰	1.79096×10 ⁻⁶
7	8.8×10 ⁵	2.6×10 ⁻²	2.95×10 ⁻⁸	235	7.68×10 ⁻¹⁰	1.45283×10 ⁻⁶
8	1 ×10 ⁶	2.8×10 ⁻²	2.8×10 ⁻⁸	235	7.84×10 ⁻¹⁰	1.48274×10 ⁻⁶
9	2.2×10 ⁶	5.5×10 ⁻²	2.5×10 ⁻⁸	235	1.38×10 ⁻⁹	2.60047×10 ⁻⁶
10	~	7.4×10 ⁻²	0	235	0	0

Buail Maligsi 18 Jaili (illataliai)			v set = 0.	030 V Ksel = 1.1	10132	
No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.001	1×10^{-8}	780	7.8× 10 ⁻⁶	0.004444444
2	2×10 ⁵	0.003	1.5× 10 ⁻⁸	779	1.17× 10 ⁻⁵	0.0066666667
3	3×10 ⁵	0.004	1.33× 10 ⁻⁸	792	1.06×10^{-5}	0.005925926
4	4×10 ⁵	0.005	1.25× 10 ⁻⁸	798	9.98× 10 ⁻⁵	0.005555556
5	4.7×10^{5}	0.007	1.49× 10 ⁻⁸	804	1.2×10^{-5}	0.006619385
6	6.6×10 ⁵	0.01	1.52× 10 ⁻⁸	805	1.22×10^{-5}	0.006734007
7	8.8×10 ⁵	0.011	1.25× 10 ⁻⁸	802	1.00×10^{-5}	0.005555556
8	1 ×10 ⁶	0.017	1.7× 10 ⁻⁸	824	1.40×10^{-5}	0.007555556
9	2.2×10 ⁶	0.019	8.64× 10 ⁻⁹	809	6.99× 10 ⁻⁶	0.003838384
10	~	0.026	0	808	0	0

Buah Mangsi 18 Jam (matahari)

Vsel = 0.056 V Rsel = 1.1 MΩ

Buah Mangsi 18 jam (halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	6 <mark>.00E</mark> -03	6. <mark>0</mark> 0E-08	235	3.60E-10	6.80851E-07
2	2×10 ⁵	8.00E-03	4.00E-08	235	3.20E-10	6.05201E-07
3	3×10 ⁵	9 <mark>.00E-03</mark>	3.00E-08	235	2.70E-10	5.10638E-07
4	4×10^{5}	1.2 <mark>0E-02</mark>	3.00E-08	235	3.60E-10	6.80851E-07
5	4.7×10 ⁵	1.30E <mark>-</mark> 02	2.7 <mark>7E-0</mark> 8	235	3.60E-10	6.80046E-07
6	6.6×10 ⁵	1.60E-02	2.42E-08	235	3.88E-10	7.33577E-07
7	8.8×10 ⁵	1.80E-02	2.05E-08	235	3.68E-10	6.96325E-07
8	1×10^{6}	1.90E-02	1.90E-08	235	3.61E-10	6.82742E-07
9	2.2×10 ⁶	2.50E-02	1.14E-08	235	2.84E-10	5.37288E-07
10	~	3.50E-02	#VALUE!	235	#VALUE!	#VALUE!

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)			
1	1×10 ⁵	0.022	2.20E-07	624	4.84E-09	3.44729E-06			
2	2×10 ⁵	0.029	1.45E-07	601	4.21E-09	3.10963E-06			
3	3×10 ⁵	0.052	1.73E-07	565	9.01E-09	7.09013E-06			
4	4×10 ⁵	0.054	1.35E-07	592	7.29E-09	5.47297E-06			
5	4.7×10 ⁵	0.063	1.34E-07	571	8.44E-09	6.57301E-06			
6	6.6×10 ⁵	0.09	1.36E-07	573	1.23E-08	9.51928E-06			
7	8.8×10 ⁵	0.1	1.14E-07	570	1.14E-08	8.86054E-06			
8	1 ×10 ⁶	0.101	1.01E-07	600	1.02E-08	7.5563E-06			
9	2.2×10 ⁶	0.132	6.00E-08	597	7.92E-09	5.89615E-06			
10	~	0.183	0	632	0	0			
Buah M	Rush Manggi 12 jam (balogen)								

Buah Mangsi 12 jam (halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	2.10E-02	2. <mark>1</mark> 0E-07	235	4.41E-09	8.34043E-06
2	2×10 ⁵	3.40E-02	1.70E-07	235	5.78E-09	1.09314E-05
3	3×10 ⁵	4.40E-02	1.47E-07	235	6.45E-09	1.22049E-05
4	4×10 ⁵	5.00E-02	1.25E-07	235	6.25E-09	1.18203E-05
5	4.7×10 ⁵	5.30 <mark>E-02</mark>	1.1 <mark>3E-</mark> 07	235	5.98E-09	1.13033E-05
6	6.6×10 ⁵	6.00E-02	9.09E-08	235	5.45E-09	1.03159E-05
7	8.8×10 ⁵	6.20E-02	7.05E-08	235	4.37E-09	8.26134E-06
8	1 ×10 ⁶	6.30E-02	6.30E-08	235	3.97E-09	7.50638E-06
9	2.2×10 ⁶	8.00E-02	3.64E-08	235	2.91E-09	5.50183E-06
10	~	1.75E-01	0.00E+00	235	0.00E+00	0

Duali M	angsi o jani (ma	tallall)	v sc =	v sc =		
No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.047	4.7×10 ⁻⁷	804	2.21×10 ⁻⁸	1.22112×10 ⁻⁵
2	2×10 ⁵	0.067	3.35×10 ⁻⁷	807	2.24×10 ⁻⁸	1.23613×10 ⁻⁵
3	3×10 ⁵	0.083	2.77×10 ⁻⁷	808	2.30×10 ⁻⁸	1.26311×10 ⁻⁵
4	4×10 ⁵	0.089	2.23×10 ⁻⁷	813	1.98×10 ⁻⁸	1.08255×10 ⁻⁵
5	4.7×10 ⁵	0.094	2.00×10 ⁻⁷	820	1.88×10 ⁻⁸	1.01897×10 ⁻⁵
6	6.6×10 ⁵	0.106	1.61×10 ⁻⁷	778	1.70×10 ⁻⁸	9.72536×10 ⁻⁶
7	8.8×10 ⁵	0.114	1.3×10 ⁻⁷	458	1.48×10 ⁻⁸	1.43311×10 ⁻⁵
8	1 ×10 ⁶	0.125	1.25×10 ⁻⁷	810	1.56×10 ⁻⁸	8.57339×10 ⁻⁶
9	2.2×10 ⁶	0.139	6.32×10 ⁻⁸	805	8.78×10 ⁻⁹	4.84874×10 ⁻⁶
10	~	0.172	0	817	0	0
Buah Mangsi 6 jam (halogen)						
Duan IVI	angsi 6 jam (hal	ogen)				
No	R	ogen) V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
No 1	R 1×10^5	ogen) V (Volt) 0.102	I (A)	Intensitas (Watt/m ²) 235	P (Watt) 1.04×10 ⁻⁷	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵
No 1 2	R 1×10^5 2×10^5	ogen) V (Volt) 0.102 0.124	I (A) 1.02×10 ⁻⁶ 6.20×10 ⁻⁷	Intensitas (Watt/m ²) 235 235	P (Watt) 1.04×10 ⁻⁷ 7.69×10 ⁻⁸	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵ 14.54×10 ⁻⁵
No 1 2 3	R 1×10 ⁵ 2×10^5 3×10^5	ogen) V (Volt) 0.102 0.124 0.134	I (A) 1.02×10 ⁻⁶ 6.20×10 ⁻⁷ 4.47×10 ⁻⁷	Intensitas (Watt/m ²) 235 235 235	P (Watt) 1.04×10 ⁻⁷ 7.69×10 ⁻⁸ 5.99×10 ⁻⁸	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵ 14.54×10 ⁻⁵ 11.3198×10 ⁻⁵
No 1 2 3 4 4	angsi 6 jam (hal \mathbf{R} 1×10^5 2×10^5 3×10^5 4×10^5	ogen) V (Volt) 0.102 0.124 0.134 0.139	I (A) 1.02×10 ⁻⁶ 6.20×10 ⁻⁷ 4.47×10 ⁻⁷ 3.48×10 ⁻⁷	Intensitas (Watt/m²) 235 235 235 235 235 235	P (Watt) 1.04×10 ⁻⁷ 7.69×10 ⁻⁸ 5.99×10 ⁻⁸ 4.83×10 ⁻⁸	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵ 14.54×10 ⁻⁵ 11.3198×10 ⁻⁵ 9.13522×10 ⁻⁵
No 1 2 3 4 5	angsi 6 jam (hal \mathbf{R} 1×10^5 2×10^5 3×10^5 4×10^5 4.7×10^5	ogen) V (Volt) 0.102 0.124 0.134 0.139 0.141	I (A) 1.02×10^{-6} 6.20×10^{-7} 4.47×10^{-7} 3.48×10^{-7} 3.00×10^{-7}	Intensitas (Watt/m²) 235 235 235 235 235 235 235	P (Watt) 1.04×10^{-7} 7.69×10^{-8} 5.99×10^{-8} 4.83×10^{-8} 4.23×10^{-8}	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵ 14.54×10 ⁻⁵ 11.3198×10 ⁻⁵ 9.13522×10 ⁻⁵ 8×10 ⁻⁵
No 1 2 3 4 5 6 6	angsi 6 jam (hal R 1×10^5 2×10^5 3×10^5 4×10^5 4.7×10^5 6.6×10^5	ogen) V (Volt) 0.102 0.124 0.134 0.139 0.141 0.167	I (A) 1.02×10^{-6} 6.20×10^{-7} 4.47×10^{-7} 3.48×10^{-7} 3.00×10^{-7} 2.53×10^{-7}	Intensitas (Watt/m²) 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235	P (Watt) 1.04×10^{-7} 7.69×10^{-8} 5.99×10^{-8} 4.83×10^{-8} 4.23×10^{-8} 4.23×10^{-8}	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵ 14.54×10 ⁻⁵ 11.3198×10 ⁻⁵ 9.13522×10 ⁻⁵ 8×10 ⁻⁵ 7.99169×10 ⁻⁵
No 1 2 3 4 5 6 7	R 1×10^5 2×10^5 3×10^5 4×10^5 4.7×10^5 6.6×10^5 8.8×10^5	ogen) V (Volt) 0.102 0.124 0.134 0.139 0.141 0.167 0.174	I (A) 1.02×10^{-6} 6.20×10^{-7} 4.47×10^{-7} 3.48×10^{-7} 3.00×10^{-7} 2.53×10^{-7} 1.98×10^{-7}	Intensitas (Watt/m²) 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235	P (Watt) 1.04×10^{-7} 7.69×10^{-8} 5.99×10^{-8} 4.83×10^{-8} 4.23×10^{-8} 4.23×10^{-8} 3.44×10^{-8}	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵ 14.54×10 ⁻⁵ 11.3198×10 ⁻⁵ 9.13522×10 ⁻⁵ 8×10 ⁻⁵ 7.99169×10 ⁻⁵ 6.50677×10 ⁻⁵
No 1 2 3 4 5 6 7 8	R 1×10^5 2×10^5 3×10^5 4×10^5 4.7×10^5 6.6×10^5 8.8×10^5 1×10^6	ogen) V (Volt) 0.102 0.124 0.134 0.139 0.141 0.167 0.174 0.18	I (A) 1.02×10^{-6} 6.20×10^{-7} 4.47×10^{-7} 3.48×10^{-7} 3.00×10^{-7} 2.53×10^{-7} 1.98×10^{-7} 1.80×10^{-7}	Intensitas (Watt/m²) 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235 235	P (Watt) 1.04×10^{-7} 7.69×10^{-8} 5.99×10^{-8} 4.83×10^{-8} 4.23×10^{-8} 4.23×10^{-8} 3.44×10^{-8} 3.24×10^{-8}	η (%) 19.6766×10 ⁻⁵ 14.54×10 ⁻⁵ 11.3198×10 ⁻⁵ 9.13522×10 ⁻⁵ 8×10 ⁻⁵ 7.99169×10 ⁻⁵ 6.50677×10 ⁻⁵ 6.12766×10 ⁻⁵

0.196

~